

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANTONIO SCATOLIN**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE REVESTIMENTO EM  
BROCAS DE CANAL RETO PARA FURAÇÃO DE FERRO FUNDIDO  
VERMICULAR**

**PATO BRANCO**

**2022**

**ANTONIO SCATOLIN**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE REVESTIMENTO EM  
BROCAS DE CANAL RETO PARA FURAÇÃO DE FERRO FUNDIDO  
VERMICULAR**

**Technical feasibility analysis in the use of coating in straight channel drills for  
vermicular cast iron drilling**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

**PATO BRANCO**

**2022**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANTONIO SCATOLIN**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE REVESTIMENTO EM  
BROCAS DE CANAL RETO PARA FURAÇÃO DE FERRO FUNDIDO  
VERMICULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28/Novembro/2022

---

Prof. Fabio de Freitas Lima  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Gabriel Stockler  
Bacharelado  
SENAI - PR

---

Prof. Roberto Nunes da Costa  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Vitor Baldin  
Doutorado  
Pontifícia Universidade Católica

**PATO BRANCO**

**2022**

Dedico este trabalho à minha família, pelos  
momentos de apoio e confiança.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador por toda essa caminhada, os ensinamentos e paciência durante todo o período do desenvolvimento do trabalho. Agradecer também a todos que fizeram presentes durante minha graduação, eles que me trouxeram e fizeram a ser o que sou hoje.

Quero deixar meu imenso agradecimento a todos os meus familiares, especialmente meus pais, pela sua confiança e crença que tudo ocorresse bem durante a graduação. Agradeço a eles por toda a base educacional que recebi.

Agradeço também a empresa TUPY S.A. por disponibilizar os meios para a produção desse trabalho. Meus sinceros agradecimentos a todos os colegas de empresa pelo carinho. Obrigado em especial para Sr. Jaimson da Cunha e ao colega Wesley lomes que acreditaram no potencial do trabalho e auxiliaram em todo o desenvolvimento.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Os revestimentos para ferramentas de corte têm grande importância na evolução dos processos produtivos, utiliza-los em brocas faz com que a furação seja otimizada. A furação é geralmente o último processo a ser realizado, portanto, tem grande peso na usinagem. O trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implementação do revestimento em brocas de canal reto na furação do ferro fundido vermicular, para isso serão analisados os desgastes de flanco da ferramenta. Ao quantificar a vida útil da ferramenta pode-se gerar aumentos positivos na produção, se tornando viável o estudo. A metodologia foi baseada nas pesquisas bibliográficas e de campo, dando foco na medição do desgaste de flanco com o uso do estereoscópio. De acordo com os intervalos e números de ciclos de usinagem foi possível gerar a curva de vida da ferramenta observando que é vantajoso para brocas de canal reto o uso de  $TiXCo^3$  na furação de ferro fundido vermicular.

Palavras-chave: Revestimento; furação; desgaste; vida útil; ferro fundido vermicular.

## ABSTRACT

Coatings for cutting tools are of great importance in the evolution of production processes, using them in drills makes drilling optimized. Drilling is usually the last process to be performed, therefore, it has great weight in machining. The objective of this work is to analyze the feasibility of implementing the coating in straight flute drills in the drilling of vermicular cast iron, for which the flank wear of the tool will be analyzed. By quantifying the useful life of the tool, positive increases in production can be generated, making the study viable. The methodology was based on bibliographic and field research, focusing on the measurement of flank wear using the stereoscope. According to the intervals and numbers of machining cycles, it was possible to generate the tool life curve, noting that it is advantageous for straight flute drills to use  $TiXCo^3$  in the drilling of vermicular cast iron.

Keywords: Coating; Drilling; Wear; Tool life; Compacted graphite iron.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais operações na furação. ....	16
Figura 2 – Tipos de brocas .....	17
Figura 3 – Broca helicoidal.....	18
Figura 4 – Geometria na cunha de uma broca helicoidal .....	19
Figura 5 – Broca de canal reto .....	20
Figura 6 – Erros comuns na furação .....	21
Figura 7 – Classificação das ferramentas .....	23
Figura 8 – Desgastes nas brocas helicoidais .....	25
Figura 9 – Esquemático evidenciando desgaste de flanco (VB) e profundidade da cratera (KT) .....	28
Figura 10 – Comportamento do desgaste de uma ferramenta de corte com o tempo de corte.....	29
Figura 11 – Resultado da simulação das temperaturas de usinagem em uma broca por meio de elementos finitos .....	30
Figura 12 – Instrumentos de medição direta .....	31
Figura 13 – Microscópio de medição.....	31
Figura 14 – Ponta de uma broca analisada por imagem.....	32
Figura 15 – Afições especiais .....	33
Figura 16 – Grandezas na broca helicoidal.....	34
Figura 17 – Comparação de propriedade dos principais fundidos.....	37
Figura 18 – Classe de ferros fundidos vermiculares .....	38
Figura 19 – Comparação da usinabilidade entre ferro fundido vermicular e cinzento.....	39
Figura 20 – Broca utilizada.....	42
Figura 21 – Cabeçote utilizado nos ensaios .....	43
Figura 22 – Equipamento para fixação da ferramenta .....	44
Figura 23 – Zoller Venturion 600/8 .....	44
Figura 24 – Centro de usinagem GROB .....	45
Figura 25 – Modelo de estereoscópio .....	46
Figura 26 – Selo de calibração .....	46



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.2.1	Objetivo Principal.....	14
1.2.2	Objetivo Específicos .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Furação</b> .....	<b>15</b>
2.1.1	Tipos de brocas .....	16
2.1.2	Geometria das brocas helicoidais.....	18
2.1.3	Brocas de canal reto.....	20
2.1.4	Qualidade na furação .....	20
<b>2.2</b>	<b>Materiais para ferramentas</b> .....	<b>22</b>
2.2.1	Processos para cobertura de ferramentas .....	24
<b>2.3</b>	<b>Mecanismos de desgaste</b> .....	<b>25</b>
2.3.1	Revestimento x Desgaste.....	26
2.3.2	Critérios de fim de vida.....	27
2.3.3	Avaliação do desgaste .....	30
2.3.4	Tipos de afiações .....	32
<b>2.4</b>	<b>Grandezas de corte na furação</b> .....	<b>33</b>
<b>2.5</b>	<b>Ferros fundidos</b> .....	<b>35</b>
2.5.1	Ferro fundido vermicular.....	37
2.5.2	Usinabilidade do ferro fundido vermicular .....	39
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>42</b>
3.2.1	Ferramentas .....	42
3.2.2	Peça testada .....	42
3.2.3	Equipamentos utilizados.....	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES</b> .....	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE A - IMAGENS DA MEDIÇÃO DAS BROCAS REVESTIDAS COM TIXCO<sup>3</sup></b>	<b>57</b>

<b>APÊNDICE B - IMAGENS DA MEDIÇÃO DAS BROCAS SEM REVESTIMENTO .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os primeiros revestimentos em ferramentas de corte para usinagem datam a partir da segunda metade da década de 1960, sendo o principal fabricante a Sandvik. A princípio estes revestimentos eram feitos em ferramentas de aço rápido e posteriormente em metal duro, a partir daí os revestimentos veem evoluindo muito com novas técnicas e materiais (COSTA, 2016).

No Brasil, mais da metade das operações de usinagem de furação ainda são realizadas com brocas helicoidais de aço rápido com ou sem camada de cobertura, tornando o processo extremamente lento (DINIZ, 2000). As ferramentas para furação geralmente são feitas com aços rápidos, aço temperado ou metal duro.

Na furação a ferramenta gira e realiza o movimento de avanço, podendo ser manual ou automático. A rotação e o avanço fazem com que os cavacos sejam direcionados para fora do local de usinagem, esses parâmetros de corte são fatores cruciais que ditam a vida da ferramenta. Com objetivo de aumentar a vida das ferramentas pode-se utilizar o revestimento, processo esse que conta com diversas combinações e propriedades.

Não somente a construção da ferramenta e os parâmetros fazem o processo ser ou não eficiente, o material da peça também exerce influência. Cada material possui diversas propriedades e aplicações. Onde no presente trabalho o foco é a furação no ferro fundido vermicular. Este fundido ainda é um material jovem, descoberto somente nos anos 40 durante estudos na melhoria da fabricação do ferro fundido nodular. Depois de cinco décadas de pesquisa, foi possível atingir o aumento da repetibilidade e estabilidade de sua fabricação podendo ser fabricado em larga escala.

O vermicular passou a receber um grande espaço na indústria automobilística, sendo empregado em diversas peças que antes eram feitas em cinzento, como, discos de freio, coletores de escapamento, cabeçotes e principalmente, blocos de motores a diesel (GUESSER, 1997).

Utilizando cabeçotes como exemplo, podemos afirmar que são peças com grandes valores agregados que estão sujeitas a refugos. Sabendo que a furação é o geralmente o último processo a ser executado o estudo no processo de desgaste das ferramentas tem grande importância em sua usinagem. Ser assertivo na escolha do

critério de vida utilizado, faz com que novas melhorias possam ser aplicadas no processo, dando espaço para novos revestimentos, geometrias e parâmetros. A usinagem não se trata somente de produção, mas também de saber analisar seus custos produtivos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Principal**

O objetivo principal desse trabalho é analisar o desgaste de flanco realizando um estudo de viabilidade na implementação de revestimento nas brocas utilizadas no processo produtivo, visando aumentar a produtividade, minimizar os desgastes e consequentemente aumentando a vida útil da ferramenta.

### **1.2.2 Objetivo Específicos**

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- i. Realizar ensaios para obter a curva de desgaste das brocas de canal reto.
- ii. Comparar o desgaste da broca de canal reto com e sem revestimento.
- iii. Analisar a viabilidade do uso do revestimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Furação

Segundo Tonshoff (1994), junto com o processo de torneamento, a furação é uma das mais importantes, é aproximadamente 30% de todas as operações de usinagem. A mesma é muitas vezes a operação com o ciclo mais curto possível em uma linha de produção automatizada.

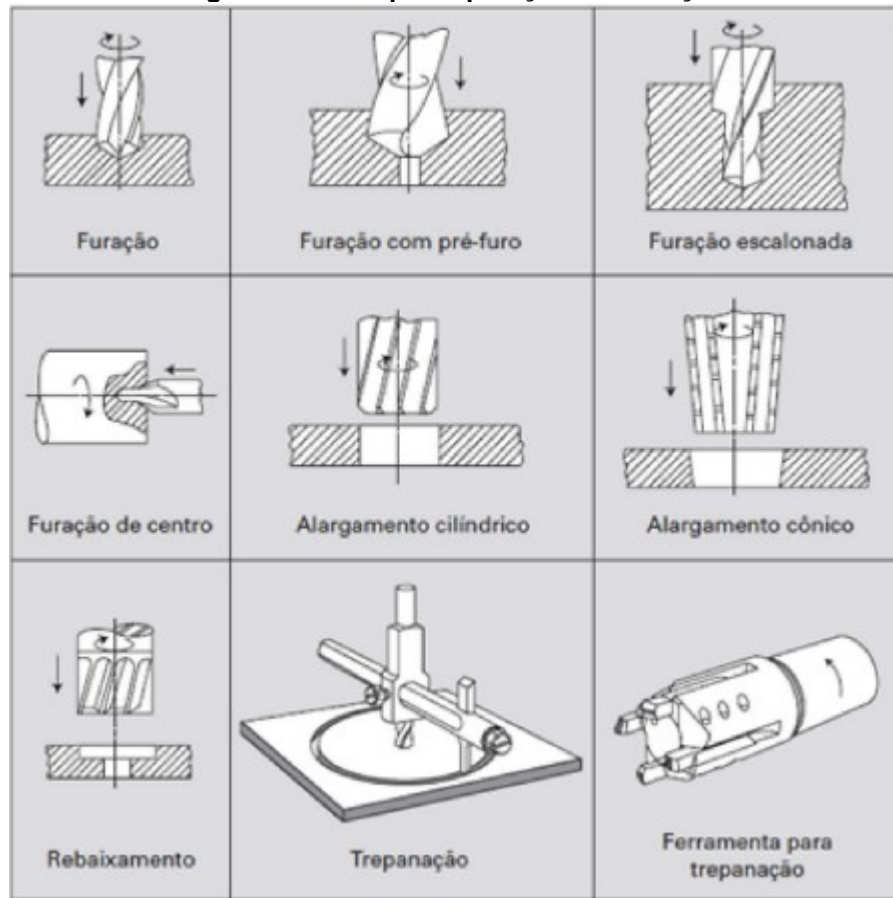
Ainda de acordo com Tonshoff (1994), a broca helicoidal é a mais importante de todas, foi inventada pela "Moses Twist Drill and Machine Company" no ano de 1820, uma companhia fundada nos EUA em 1864. O uso de brocas helicoidais em todos os processos de corte é estimado em 20% - 25%.

Segundo Machado et al. (2009) e Stemmer (1995), a furação é realizada em condições relativamente severas, dentre as citadas:

- A velocidade de corte é variável, sendo valor máximo no exterior e nulo no centro da ferramenta;
- Não possui um bom transporte de cavaco;
- O fluido de corte age como refrigerante, lubrificante e como um agente transportador de cavaco, possuindo dificuldade para chegar ao gume da ferramenta;
- O processo passa por uma distribuição desigual de calor no corte e com atrito nas guias, provocando um desgaste acentuado nas quinas com cantos vivos.

Os tipos mais comuns do processo assim como seus sentidos e direções podem ser condensados na Figura 1.

**Figura 1 – Principais operações na furação.**

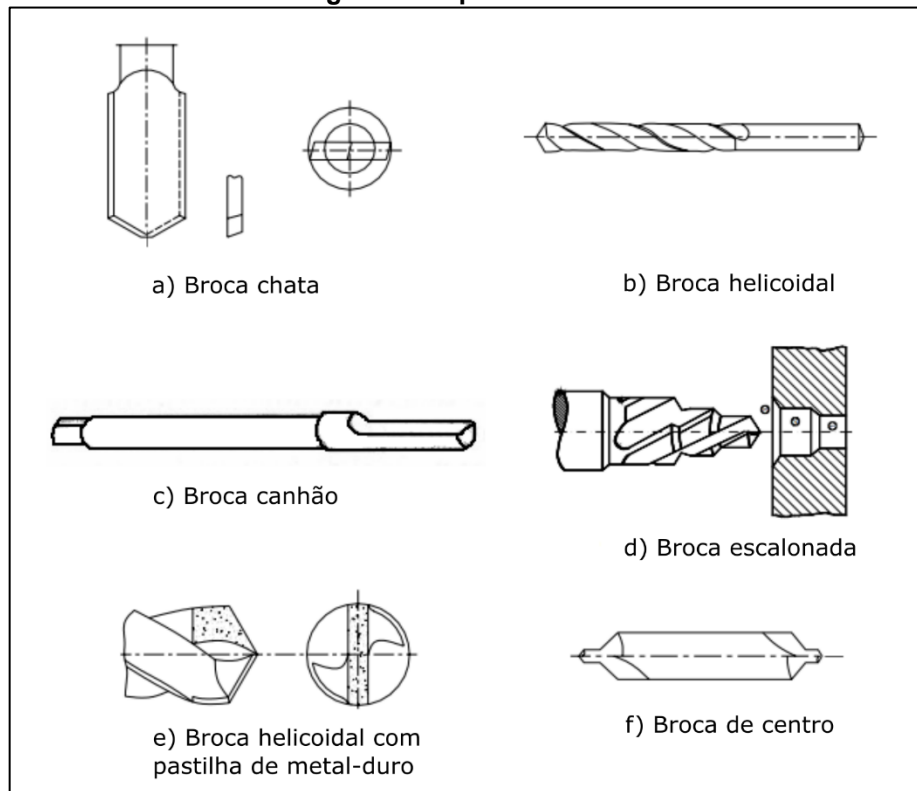


Fonte: Alisson et. al. (2009)

### 2.1.1 Tipos de brocas

Segundo Stemmer (1995), no processo de furação comumente são usadas ferramentas de diversos tipos como: brocas chatas, brocas helicoidais, brocas canhão, brocas de centro, brocas ocas, etc. Dentre essas a helicoidal é a mais usada para a produção de furos. No processo de furação deve se ter ciência dos seguintes fatores: diâmetro do furo, profundidade, tolerâncias de forma e de medidas, volume de produção. Na Figura 2 podemos ver alguns tipos de brocas antes citadas.

**Figura 2 – Tipos de brocas**



**Fonte: Adaptado de Castillo (2005)**

Brocas chatas são as mais antigas empregadas na furação. Fabricadas por achatamento a quente de uma parte de uma barra cilíndrica. Até hoje brocas chatas encontram aplicação como escalonadas ou brocas de lâmina para furação de materiais frágeis como ferro fundido, bronze e latão. As brocas chatas, de acordo com Stemmer (1995), suportam momentos torçores muito limitados e a remoção de cavacos é crítica em furos mais profundos. Limitando assim seu uso.

As brocas helicoidais são brocas projetadas para furos diretos ou em peças com pré-furos. Elas podem ser classificadas de acordo com o tipo do material ao qual são fabricadas, forma da haste, número de canais, sentido de corte, comprimento, diâmetro e afiação da ponta (CASTILLO, 2005).

Já as brocas canhão são utilizadas para furos profundos (de 10 a 100 diâmetros ou mais), elas suprem alguns inconvenientes das brocas helicoidais como, furos desviados devido a carga na ponta, os seus canais helicoidais enfraquecem as mesmas, em furos pequenos é difícil fazer o fluido chegar até os gumes e para a descarga dos cavacos é necessário retirar frequentemente as brocas do furo. Por essas razões se recorre a brocas canhão. Segundo Stemmer (1995) são usadas nos diâmetros de 5 a 60 mm. A furação é feita com a peça girando e a broca parada ou

então, em casos especiais, com a broca girando em sentido contrário. A lubrificação é feita com fluido de corte sob alta pressão, através de furos que saem na superfície de incidência e arrastam os cavacos no seu retorno pelo canal.

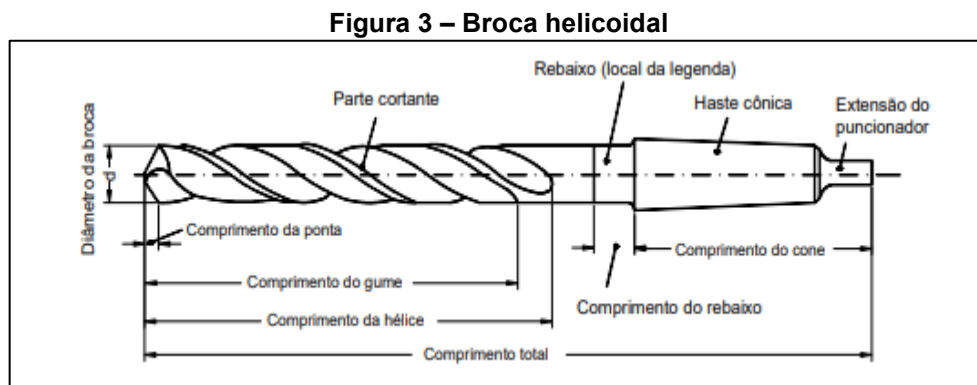
Os tipos especiais como brocas escalonadas, possuem dois ou mais diâmetros retificados em brocas padronizadas, sendo utilizadas na produção em massa e em tornos automáticos para execução de furos com dois ou mais diâmetros diferentes ou para operações combinadas de furação, como alargamento ou chanframento.

Para a realização de furos em materiais abrasivos como concreto, cerâmica, não metálicos, vários tipos de plásticos, ferros fundidos, entre outros, são utilizadas brocas helicoidais com pastilha de metal duro (CASTILLO, 2005).

A utilização de uma broca helicoidal necessita de um pré furo que muitas vezes é feito com brocas de centro, elas são utilizadas para marcar o centro dos furos, especialmente em peças que deverão ser usinadas entre pontas. As brocas padronizadas como DIN 320 e DIN 333 já produzem diretamente os furos de centro padronizados.

### 2.1.2 Geometria das brocas helicoidais

Os conceitos básicos e a nomenclatura das diversas partes das brocas helicoidais são definidas pela norma ABNT – TB-111 (DIN-412). A Figura 3 mostra os vários componentes de uma broca helicoidal.



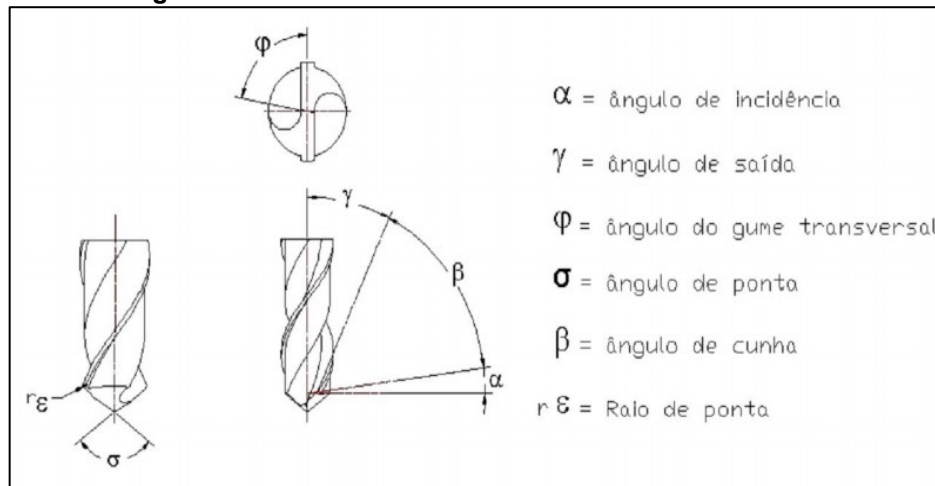
**Fonte: Castillo (2005)**

A broca é constituída por uma haste com canais helicoidais destinados a criar espaço para a remoção dos cavacos, possui dois gumes principais sendo no mesmo



sentido do avanço, neste mesmo encontram-se vários ângulos como mostrados na Figura 4.

**Figura 4 – Geometria na cunha de uma broca helicoidal**



Fonte: Santos (2013)

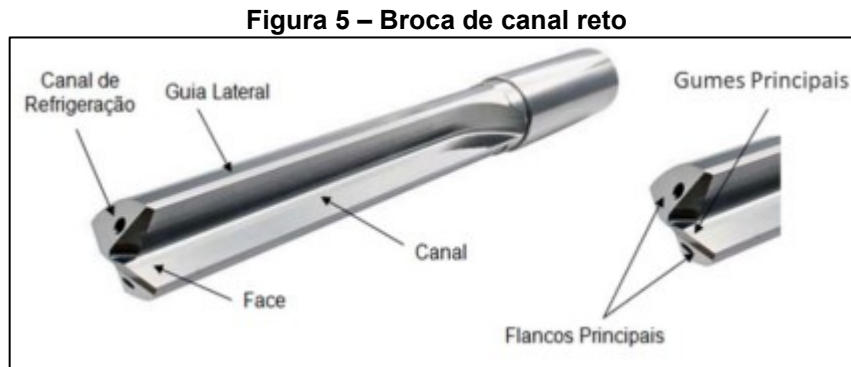
O gume transversal está situado na ponta, ligado aos gumes principais, visto de frente, forma um ângulo de incidência  $\alpha$ . Segundo Mocellin (2002), o aumento ou redução do ângulo de ponta pode gerar gumes côncavos ou convexos, respectivamente. O gume transversal corta em péssimas condições de trabalho, com velocidade de corte muito baixa e ângulo de saída negativo, sendo assim deve ser mantido tão pequeno quanto possível (STEMMER, 1995).

O ângulo de hélice  $\delta$  é o ângulo da helicóide dos canais da broca e correspondem ao ângulo de saída  $\gamma$ , a norma ABNT PB-286 (DIN 1836), recomenda três tipos de brocas, quanto ao ângulo de hélice, sendo do tipo N para aços usuais, as brocas do tipo H para materiais duros e frágeis. Já as do tipo W, são para materiais dúcteis (STEMMER, 1995).

Segundo Oliveira (2008) o ângulo de ponta  $\sigma$  é constituído pelos dois gumes principais, no plano que se inicia o eixo principal da broca. O ângulo de ponta tem influência na espessura do cavaco utilizando o mesmo avanço. Na utilização de ângulos menores de ponta faz com que o cavaco seja mais fino e largo, já em um maior ângulo de ponta permite-se o uso de avanços maiores possibilitando uma redução no tempo de usinagem (CASTILLO, 2005).

### 2.1.3 Brocas de canal reto

Segundo Luiz (2016), as brocas de canal reto podem ser consideradas um tipo especial de broca helicoidal, sendo elas com ângulo de hélice igual a zero. Todos os ângulos e partes construtivas seguem a mesma nomenclatura das brocas helicoidais como mostrada na Figura 5.



Fonte: Luiz (2016)

Para Stouterau (2007), brocas de canal reto são mais resistentes a torção e indicadas para furação em ligas de alumínio-silício e ferros fundidos cinzentos. Devido sua tolerância a maiores velocidades de corte elas são capazes de aumentar a produtividade. São indicadas para usinagem de materiais que desenvolvem cavacos curtos (LUIZ, 2016).

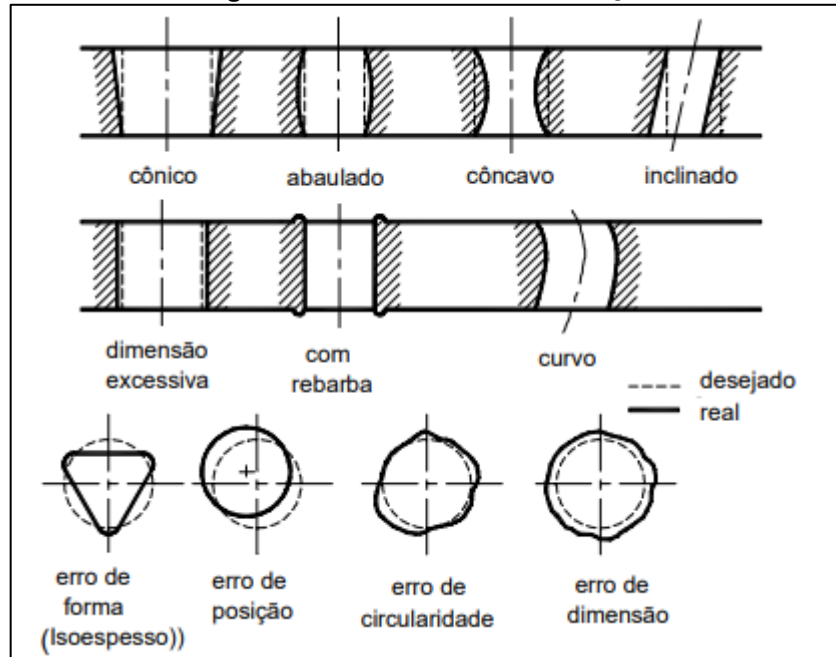
### 2.1.4 Qualidade na furação

Apesar de um desenvolvimento tecnológico alto, ainda é impossível obter superfícies perfeitamente exatas. Por isso um limite de tolerância é mantido nas medições. Ainda assim é comum aparecerem peças com superfícies fora dos limites de tolerância, devido a várias falhas no processo de usinagem, nos instrumentos ou nos procedimentos de medição. Nesse caso, a peça apresenta erros de forma (SOUZA, 2013).

Ainda segundo Souza (2013), um erro de forma corresponde à diferença entre a superfície real da peça e a forma geométrica teórica. Esses erros podem ser ocasionados por vibrações, imperfeições na geometria da máquina, defeito nos mancais e nas árvores etc.

Os erros ou imperfeições que podem ocorrer no processo de furação são mostrados na Figura 6. Esses erros são classificados como erros geométricos.

**Figura 6 – Erros comuns na furação**



Fonte: Castillo (2005)

A tolerância de cilindridade segundo Castillo (2005), é determinada pela diferença entre os raios de dois cilindros geometricamente corretos, sendo coaxiais. Na usinagem de elementos de revolução, tais como cilindros ou furos, ocorrem variações em sua forma e posições, provocando erros de ovalização, conicidade, excentricidade, etc.

Tendo furos com erros de cilindridade é feito um alargamento no furo, esse que é um processo de usinagem onde uma ferramenta rotativa com geometria especial, faz um leve corte nos furos (MACHADO et. al, 2010).

A circularidade é um caso especial de cilindridade, quando se considera uma seção do cilindro perpendicular à sua geratriz. A tolerância de cilindridade engloba as tolerâncias admissíveis na seção longitudinal do cilindro, que compreende conicidade, concavidade e convexidade, e tolerância admissível na seção transversal do cilindro, correspondendo a circularidade (SANTOS, 2018).

De acordo com Castillo (2005), formas tais como triangular, irregular ou oval são comumente observadas. Para minimizar esses erros deve se ajustar a precisão dos mancais do fuso e a afiação da ferramenta, sendo também reduzido com um aumento na taxa de avanço e no uso de ferramentas mais rígidas.

Se os erros de forma estiverem dentro das tolerâncias dimensionais, eles serão suficientemente pequenos para se obter a montagem e funcionamento

adequados da peça, e como consequência, geralmente não há necessidade de especificar tolerâncias de circularidade (SOUZA, 2013).

## **2.2 Materiais para ferramentas**

Para Machado et. al., (2009), o processo de usinagem se dá pela remoção de material, utilizando uma ferramenta que possui uma dureza e mecanismos mais resistentes que a peça. Com o surgimento de novos materiais e ligas estruturais com maior resistência mecânica e elevada dureza, novos materiais de ferramentas apareceram para auxiliar no processo de usinagem.

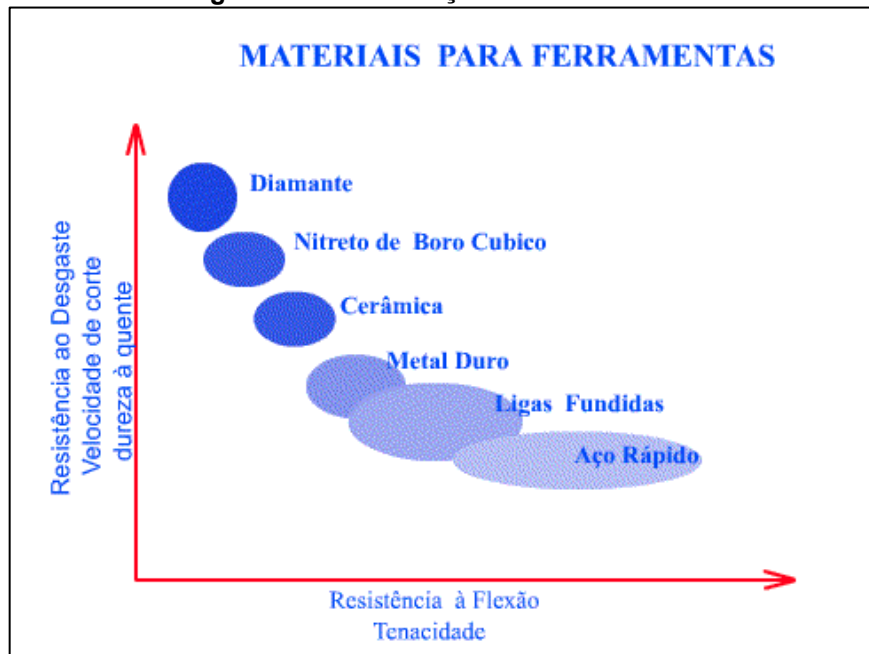
Diniz (2000), afirma que a seleção de materiais para ferramentas leva em consideração diversos fatores como, material a ser usinado, processo de usinagem, condição da máquina operatriz, forma e dimensões da ferramenta, custo do material da ferramenta, condições de usinagem e condições de operação.

Ainda segundo Machado et. al. (2009), não é possível encontrar uma classificação dos materiais para ferramentas de corte, elas acabam sendo divididas por suas características químicas. A conciliação das propriedades de cada elemento faz com que ferramentas sejam fabricadas de acordo com sua função, esse balanço de elementos e características que cada um leva se tornou um desafio para as fabricantes de ferramentas.

A pesquisa de materiais para ferramentas tem conduzido ao aumento de velocidades de corte, taxa de avanço e vida da ferramenta, auxiliando para a elevação da produtividade no processo de furação (FERRARESI, 2006). Segundo Steoterau (2004), os requisitos básicos para se ter em uma broca são a tenacidade, resistência a compressão, resistência à abrasão, resistência térmica e resistência ao choque e fadiga.

Como dito anteriormente, os materiais são agrupados por suas características químicas, formando os seguintes grupos: aços rápidos com e sem revestimento, ligas fundidas, metal duro com e sem revestimento, material cerâmico, nitreto de boro cúbico e diamante. Classificação essa vista na Figura 7.

Figura 7 – Classificação das ferramentas



Fonte: CIMM (2022)

Machado et. al. (2009), faz a descrição dos materiais mais usuais para ferramentais, que são:

- a) Aços rápidos: Os primeiros relatos de estudo com aços rápidos se deram em 1900, material que revolucionou a prática de usinagem, resultando em um grande aumento de produtividade. As velocidades de corte puderam aumentar cerca de 10 vezes, por esse fator receberam o nome de aços “rápidos” ou em inglês HSS (High Speed Steel).
- b) Aço rápido revestido: O uso de coberturas garante que as ferramentas de aço rápido tenham vida mais longa e velocidades de corte ainda maiores. O processo de revestimento tem sido intensamente pesquisado e o domínio do processo PVD (Physical Vapour Deposition) garantem a popularização e a aplicação desse método.
- c) Metal duro: como os aços rápidos o metal duro foi outro marco revolucionário na usinagem, novamente suas velocidades de corte puderam ser aumentadas em praticamente dez vezes. A descoberta do material aconteceu em 1928, aonde o carboneto de tungstênio misturado principalmente com cobalto, fez com que esse material fosse criado. Quando verificadas as excelentes propriedades de dureza e resistência ao desgaste, esse material foi chamado de widia, do alemão wie diamond, traduzido para “como diamante”.

- d) Metal duro revestido: o uso do revestimento em metal duro tem grande importância pois tal revestimento garante um desempenho superior na usinagem de materiais ferrosos. Ao contrário das ferramentas de aço rápido revestido que usam o processo de PVD, os metais duros podem receber tanto esse processo quanto o CVD (Chemical Vapour Deposition).

### 2.2.1 Processos para cobertura de ferramentas

Antes de realizar o revestimento a ser utilizado, é necessária uma análise dos processos disponíveis para a aplicação destes. A deposição de revestimentos tem como objetivo alterar as propriedades de uma superfície, destacando as propriedades químicas, resistência mecânica e resistência ao desgaste (COSTA, 2016).

Dentre os processos de revestimento para ferramentas, existem atualmente a deposição química a vapor, conhecido como CVD (Chemical Vapour Deposition) e o processo de deposição física de vapor PVD (Physical Vapour Deposition) como citados anteriormente.

O processo de CVD é normalmente feito com temperaturas que variam de 900 a 1100°C. Essa elevada temperatura do processo muitas vezes impede o revestimento de materiais mais susceptíveis a altas temperaturas, como o aço rápido. Diferente do metal-duro que aceita perfeitamente o processo permitindo uma boa difusão entre o revestimento e o substrato (Mocellin, 2002).

Já o processo de PVD é realizado em temperaturas de aproximadamente 400 a 600°C. Junto com novas tecnologias vem conquistando mais espaço no mercado nos últimos anos. Ele pode ser aplicado em aços rápidos quanto em metal-duro (PRENGEL ET. AL, 2001).

Dentre as diversas propriedades dos revestimentos, as principais são: estabilidade química, dureza a quente e boa adesividade com o substrato.

A dureza elevada do revestimento e que se mantém em altas temperaturas, fazem com que haja uma diminuição do desgaste, reduzindo a tendência do surgimento de desgaste abrasivo. A formação do desgaste de cratera também sofre diminuição quando se utiliza revestimentos de alta dureza (COSTA, 20016).

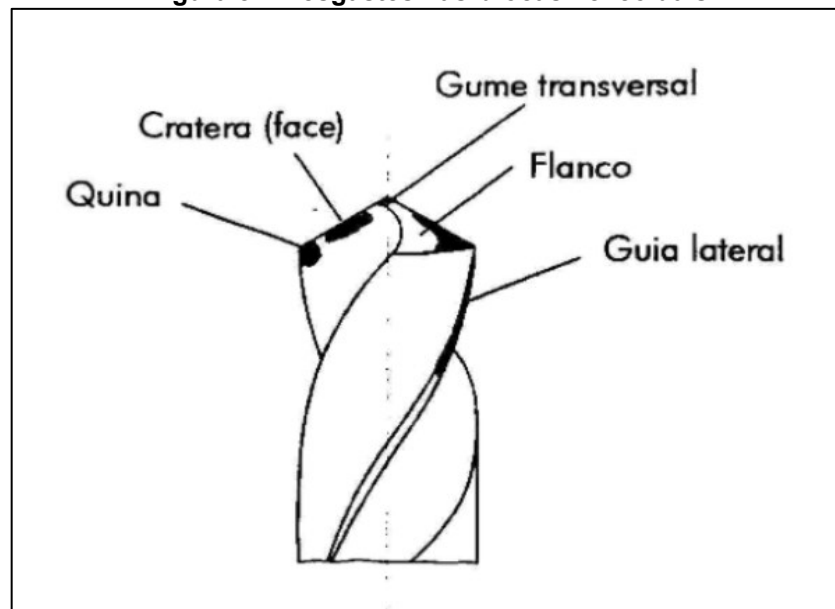
### 2.3 Mecanismos de desgaste

Segundo Santos (2016) e Castillo (2005), o desgaste da ferramenta pode ser definido como a perda gradual de material pela ação mútua entre o cavaco e a ferramenta e a peça e a ferramenta, deformando a geometria original da broca, prejudicando a qualidade superficial, aumentando as forças de corte e ruídos, resultando em quebra e fim da vida útil.

Ferraresi, (1977), aponta os mecanismos mais influentes no desgaste da ferramenta, sendo eles, deformação do gume, abrasão, adesão e oxidação. Para Marmetini (2009), as temperaturas elevadas no processo de furação que estão ligadas diretamente pela velocidade de corte, aceleram o processo de desgaste e reduzem a vida útil da broca.

Machado et al., (2009), define que existem pelo menos três formas de desgaste os quais são, desgaste de cratera, desgaste no flanco e de entalhe. As brocas apresentam desgastes, mostrados na Figura 8, no flanco (VB), desgaste de cratera (Km), desgaste de quina (W), o desgaste do gume transversal (Ct e Cm) e o desgaste na guia lateral (Mw) (MARMETINI, 2009).

Figura 8 – Desgastes nas brocas helicoidais



Fonte: Marmetini (2009)

Segundo Mocelin (2002), o desgaste no flanco acontece ao longo dos gumes, de maneira semelhante as ferramentas de tornear. A largura do desgaste é tomada a partir da média do desgaste dos dois gumes. Ao decorrer da usinagem a aresta passa

a ser uma referência nula e por isso suas dimensões passam a ter como base uma broca nova.

Os desgastes ocasionados nas guias são medidos a partir da quina da broca. Este desgaste pode gerar um aumento no calor devido a um atrito entre a peça e a ferramenta provocando uma dilatação térmica. A guia adere e escorrega constantemente na parede do furo provocando vibrações, trepidações e podendo levar a uma quebra (OLIVEIRA, 2008).

Nas faces é identificado o desgaste de cratera, ocorre devido ao atrito gerado pela passagem do cavaco. É mensurado a partir da posição mais distante do lado oposto da cratera em relação a aresta de corte (SANTOS, 2016). Castillo (2005), determina o gume transversal como uma zona mais crítica da broca, onde ocorrem danos a partir do primeiro contato da ferramenta com a peça. Solicitações mecânicas altas juntamente com velocidades de corte tendendo a zero, levam a um desgaste progressivo pelo esmagamento do material. Esforços esses que causam lascamento e posteriormente destruição do gume.

### 2.3.1 Revestimento x Desgaste

O uso do revestimento garante um menor coeficiente de atrito que permite a redução dos esforços de corte, melhoram a proteção térmica, diminuem o desgaste por oxidação, possuem alta dureza e melhor resistência (ABELE ET. AL., 2007). Machado et. al. (2009) complementa dizendo que, cada camada de revestimento tem uma função específica e sua associação permite oferecer um material com todas vantagens possíveis.

Segundo Chen et al., (2011) revestir as ferramentas apresentam alguns benefícios, permitem uma maior velocidade de corte, igualando o potencial das máquinas atuais. Os tipos de revestimento mais usados no processo de furação são: TiN, TiC, TiCN, TiAlN e AlCrN.

- a) TiN: A presença desse composto faz com que o corte aconteça com menores esforços devido ao seu baixo coeficiente de atrito. Como essa camada oferece alta dureza e também pequeno atrito, os desgastes são menores, principalmente na superfície de folga (DINIZ 2000).



- b) TiC: É um composto que oferece resistência ao desgaste por abrasão. É quimicamente inativo, formando um bloqueio térmico e químico entre o cavaco e a ferramenta (SANTOS, 2013).
- c) TiAlN: De acordo com Oliveira (2008), o revestimento de Nitreto de Titânio Alumínio é uma técnica onde durante sua deposição, alguns átomos de Ti são substituídos por átomos de Al, garantindo maior resistência ao desgaste, oxidação e estabilidade química. Estas características tornam esse revestimento o mais conveniente para furação do ferro fundido vermicular (ANDRADE, 2005).
- d) TiCN: Segundo Machado et. al., (2009), esse revestimento é o mais requisitado como primeira camada, ele garante maior aderência do revestimento no substrato e de novos revestimentos sobre ele. Possui boa resistência ao desgaste de flanco resistindo ao desgaste de cratera e à oxidação (SANTOS, 2013).
- e) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Comparando com os revestimentos anteriores, esse revestimento apresenta menor tolerância ao substrato do metal duro. Entretanto, é o mais adequado à oxidação, aconselhável em usinagens com altas velocidades de corte (SANTOS, 2013).
- f) AlCrN: Faz parte da nova geração de revestimentos. Demonstra rendimento excepcionais quando confrontado com oxidação e dureza a quente. Com essas características este produto tem uma resistência ao desgaste incomparável (OERLIKON BALZERS, 2013).

### 2.3.2 Critérios de fim de vida

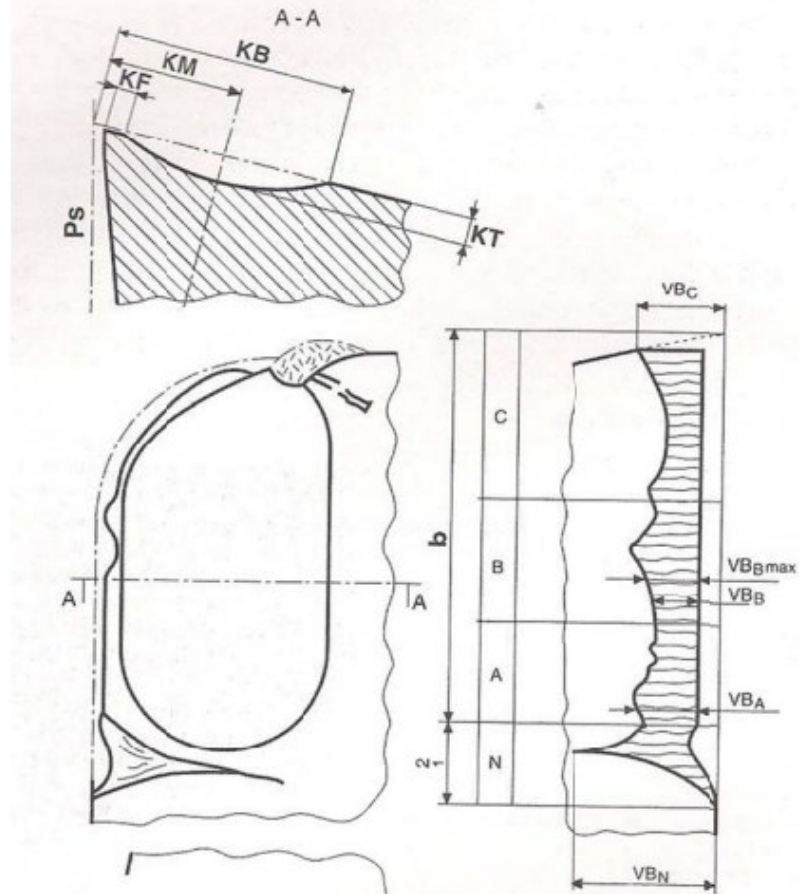
Após se desgastarem e perderem a capacidade de corte, as brocas devem ser substituídas. Para determinar o momento adequado desta troca, é necessário adotar um critério de final de vida, evitando uma troca prematura ou tardia (FORTUNATO 2012).

Com fins de simplificar o estudo a norma ISO 3685 para torneamento sugere dois critérios para a determinação do fim da vida da ferramenta, sendo eles:

- I. Desgaste do flanco médio,  $VB_b = 0,3\text{mm}$ ;
- II. Desgaste de flanco máximo,  $VB_{b\text{max}} = 0,6\text{mm}$ ;
- III. Profundidade da cratera KT (Figura 9), dada por:  $KT=0,06+0,3*f$  onde f é o avanço de corte em mm/rev;

- IV. Desgaste de entalhe  $VB_n$  e  $VC_n = 1,0\text{mm}$ ;
- V. Falha catastrófica.

Figura 9 – Esquemático evidenciando desgaste de flanco ( $VB$ ) e profundidade da cratera ( $KT$ )

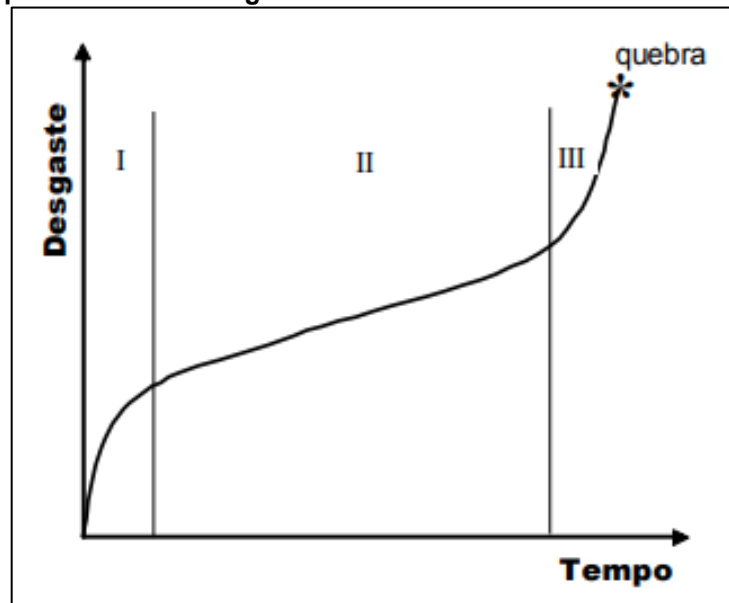


Fonte: ISO 3685 (1997)

De acordo com Ferraresi (1977), os principais critérios de final de vida das brocas podem ser: o desgaste da extremidade cortante da broca, vibrações ou ruídos durante a usinagem, dimensional ou acabamento do furo comprometido, rebarbas excessivas no local do furo, aumento das temperaturas de usinagem, formação de cavacos com formas incomuns e número de furos executados.

O fim da vida da ferramenta de corte é determinado fazendo uma comparação onde o processo produtivo se mantém constante e dentro das condições econômicas adequadas (MEDEIROS, 2011). A Figura 10 apresenta o comportamento padrão do desgaste de uma ferramenta de usinagem.

Figura 10 – Comportamento do desgaste de uma ferramenta de corte com o tempo de corte



Fonte: Machado et. al. (2009)

No primeiro estágio, a ferramenta sofre um desgaste acentuado no início do corte, devido a uma adequação ao sistema tribológico envolvido, sendo que a cunha cortante se estabiliza ao processo. No segundo estágio a ferramenta apresenta um desgaste constante onde ela já está acomodada ao processo e cujos os mecanismos de desgaste operam numa taxa constante. Por fim o terceiro estágio é caracterizado por um aumento acentuado na taxa de desgaste que leva a ferramenta ao seu fim de vida (MACHADO et. al., 2009).

A vida útil da ferramenta também pode ser estimada matematicamente de acordo resultados de ensaios. Sua vida é representada pela Equação 1, conhecida como Equação de vida de Taylor (DINIZ 2000).

$$T = K * V_c^{-x} \quad (1)$$

Onde:

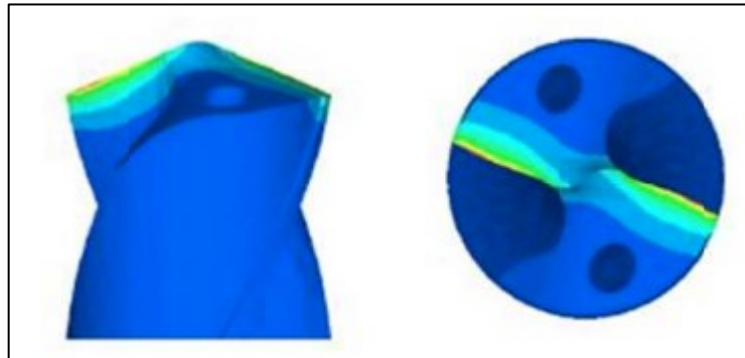
T = Vida da ferramenta (min.);

K = constante da Equação de Vida de Taylor;

X = Coeficiente da Equação de Vida de Taylor.

Além disso para auxiliar a tomada de decisões, podem ser utilizados softwares especiais, para estimar a vida útil das ferramentas de corte. Estes softwares realizam simulações pelo método de elementos finitos como mostrados na figura x (GARDNER; DORNFELD, 2006).

**Figura 11 – Resultado da simulação das temperaturas de usinagem em uma broca por meio de elementos finitos**



**Fonte: Li; Shih (2007)**

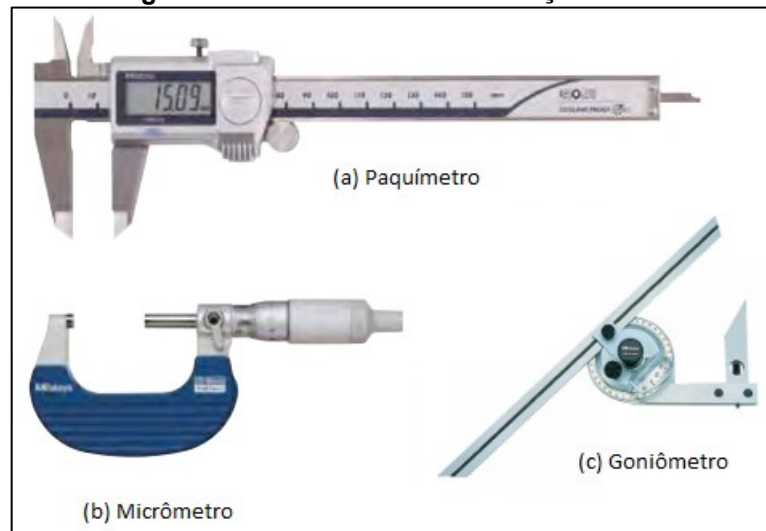
As simulações são definidas através de condições de contorno, isto é, equações que descrevem os parâmetros e demais variáveis envolvendo o objeto de estudo (FORTUNATO 2012).

### 2.3.3 Avaliação do desgaste

A avaliação dos desgastes tem como finalidade determinar os parâmetros e consequências de esforços das mais diversas operações como, avanço, geometria, velocidade de corte, estado do desgaste e pressão de corte (SANTOS, 2016). Os desgastes segundo Fortunato (2012) podem ser avaliados por medição direta e inspeção visual, microscópio e análise de imagens, balança de precisão.

O método de medição direta das brocas utiliza paquímetros (Figura 12a) ou micrômetros (Figura 12b) para a medição das partes cilíndricas das ferramentas (WALKER, 2004). Já os micrômetros realizam medições lineares externas pois os mesmos possuem maiores precisões. Os diversos ângulos da broca podem ser medidos através de um goniômetro (Figura 12c), instrumento que tem a função de medir superfícies angulares.

**Figura 12 – Instrumentos de medição direta**



Fonte: Mitutoyo (2022)

Ferraresi (1977), afirma que a medição pode ser feita visualmente. É utilizado uma lupa com retículo. Para realizar a medição o foco da lupa pode ser ajustado tendo como referência uma escala interna, situada na base do equipamento.

Quando se é preciso uma avaliação dimensional mais precisa, são utilizados microscópios de medição, mostrado na Figura 13. A broca é retirada da máquina e instalada em um suporte universal, que permite a visualização da broca no plano horizontal (FORTUNATO 2012).

**Figura 13 – Microscópio de medição.**

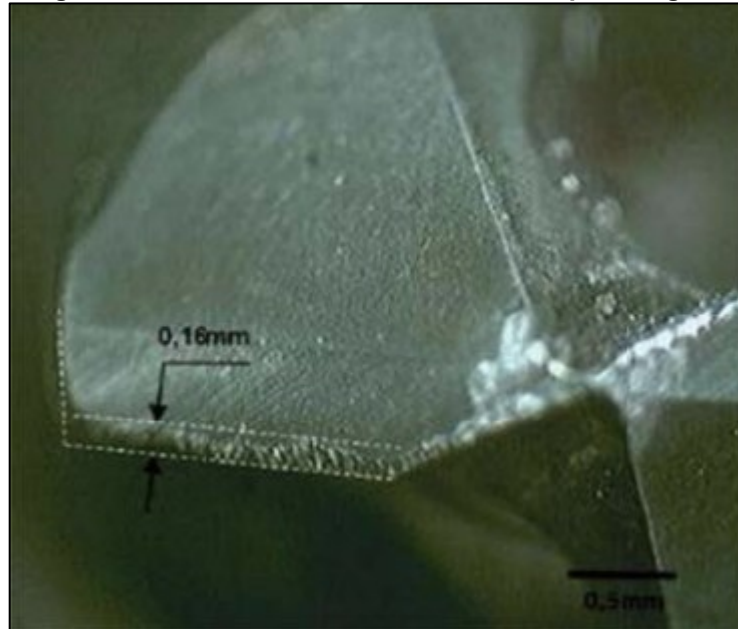


Fonte: Mitutoyo (2022)

Já o método de avaliação de desgaste por imagens utiliza fotografias com grande definição, junto com o auxílio de um software com captura de imagens e um

microscópio óptico calibrado para mensurar os níveis de desgaste. A broca é fotografada antes de realizar a usinagem e depois, podendo assim comparar os resultados como mostrado na Figura 14.

**Figura 14 – Ponta de uma broca analisada por imagem.**



Fonte: Pereira (2010)

Outro método porém não tão usual devido a sua relevância, é o uso da balança de precisão. Segundo Mendes (2011), o volume de desgaste pode ser calculado a partir da variação do peso da amostra, método esse que pode ser limitado, especialmente quando se avalia materiais de alta dureza como brocas revestidas.

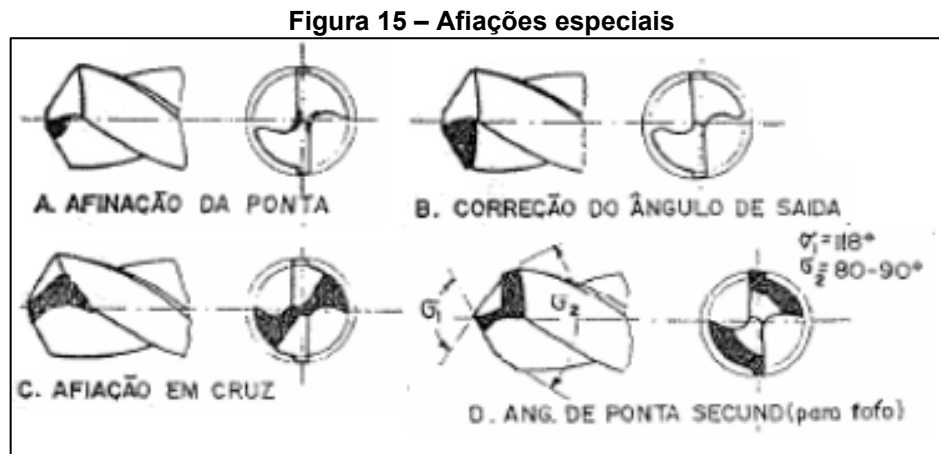
#### 2.3.4 Tipos de afiações

Segundo Teixeira (1995), existem aproximadamente 150 tipos diferentes de afiações, uma série de perfis específicos, desenvolvidos para materiais e peças considerando uma produção adequada ao processo.

As principais afiações de acordo com Stemmer (1995) são:

- a) Afição do gume transversal: o gume transversal é responsável por uma parcela ponderável de 30 a 60% da força de avanço. Para reduzir a força de avanço provocada pelo aumento da base nas afiações retifica-se uma reentrância na ponta da broca, reduzindo o gume transversal (Figura 15a).

- b) Correção do ângulo de saída com afinação do gume transversal: se retifica uma canaleta que simultaneamente corrige o ângulo de saída da broca, no centro e afina o gume principal, melhorando as condições de corte (Figura 15b).
- c) Afição cruzada: faz-se uma retificação no plano inclinado nas superfícies dos flancos, eliminando parcial ou totalmente o gume transversal. Em lugar do gume transversal se formam dois novos gumes principais que fazem ângulo menor do que  $90^\circ$  com o eixo principal, provocando um efeito centrante na broca. Este tipo de aviação é usado principalmente em brocas para furos profundos (Figura 15c).
- d) Afição de ponta secundária: além da ponta principal, como o ângulo usual de  $118^\circ$ , retifica-se uma segunda ponta com ângulo de  $80$  a  $90^\circ$ . Este tipo de afiação tem dado bom resultado na furação de peças de ferro fundido cinzento. O objetivo da ponta secundária é de reduzir o super aquecimento na parte mais externa dos gumes, onde a velocidade de corte é máxima (Figura 15d).



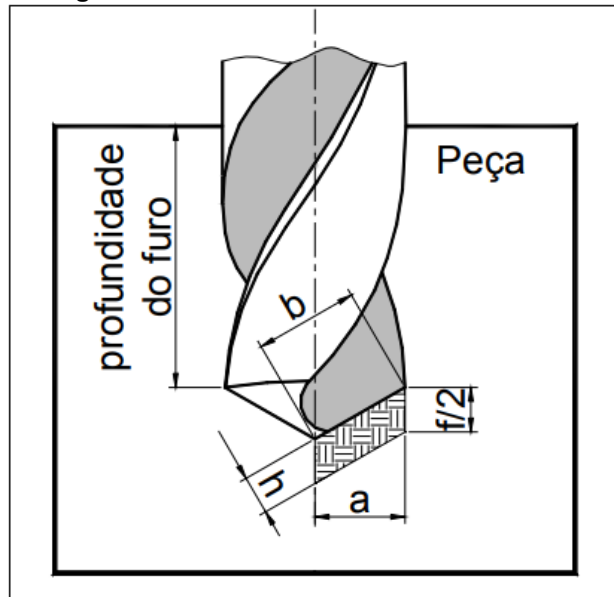
## 2.4 Grandezas de corte na furação

Para Mocellin (2002), as grandezas de corte definem a maneira como o processo é realizado, Machado et. al, (2009), complementa ao dizer que são princípios usados em todas as máquinas-ferramenta para obter a superfície desejada e determinar movimentos relativos apropriados entre a peça e a ferramenta.

As grandezas de corte, mostradas na Figura 16, são mensuradas em velocidade de corte ( $v_c$ ), profundidade de corte ( $a_p$ ) e avanço ( $f$ ). Outras grandezas

relevantes são a espessura de usinagem ( $h$ ), largura de usinagem ( $b$ ) e profundidade do furo.

Figura 16 – Grandezas na broca helicoidal



Fonte: Mocellin (2002)

Ferraresi (1977), descreve a velocidade de corte como a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante, segundo a direção e sentido de corte e é definida pela Equação 2. A velocidade nominal de corte é considerada sendo aquela que ocorre no diâmetro externo da broca, geralmente em mm/min (MOCELLIN, 2002).

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (2)$$

onde:

d= diâmetro da broca (mm)

n= rotações por minuto.

A profundidade de corte corresponde à metade do diâmetro da broca em uma furação em cheio, ela é medida em um plano perpendicular ao plano de trabalho. Em alguns casos é denominada como largura de corte (FERRARESI, 1997). Já a profundidade do furo é a profundidade de penetração da broca desconsiderando a ponta.



O avanço é definido por Diniz (2000), como o percurso de avanço em cada volta ou curso da ferramenta (mm/rot), em uma direção paralela ou coincidente com o eixo do furo. Ao fazer um aumento no avanço, cresce a chance de quebra da broca como também a remoção do cavaco. A velocidade de avanço é limitada pela resistência mecânica da broca, que pode flambar (MOCELLIN, 2002).

A espessura de usinagem segundo Machado et al (2009), é a espessura calculada da seção transversal de corte a ser retirada. É proporcional ao avanço sendo medida perpendicularmente ao gume usando a Equação 3.

$$h = \frac{f}{2} * \text{sen} \left( \frac{\sigma}{2} \right) \quad (3)$$

onde:

$\sigma$  = ângulo de ponta da broca.

A largura de usinagem segundo Castillo (2005) é a largura em que o cavaco vai ser retirado, sendo medido na superfície de corte, segundo a direção normal a direção de corte. A largura para Mocellin (2002), corresponde ao comprimento de cada gume principal para furações em cheio e é obtida pela Equação 4.

$$b = \frac{D}{2 * \text{sen} \left( \frac{\sigma}{2} \right)} \quad (4)$$

onde:

D = diâmetro da broca.

## 2.5 Ferros fundidos

De acordo com Chiaverini (2005), os ferros fundidos constituem um grupo de ligas fundamentais para a indústria. Após a introdução de elementos de liga, a aplicação de tratamentos térmicos adequados e pelo desenvolvimento do ferro fundido nodular, eles vêm substituindo o que antes era exclusivo dos aços.

Mocellin (2002) afirma que, para o uso de ferro fundido em blocos de motores diesel, coletor de escapamento e outras, recomenda-se que o material possua elevada resistência mecânica; boa condutividade térmica; tenacidade; ductilidade e capacidade de amortecimento de vibrações.

Pode se definir o ferro fundido como uma liga ternária Fe-C-Sr, com teores de carbono situados acima de aproximadamente 2,0% (CHIAVERINI, 2005). Os ferros

fundidos são classificados em diferentes formas, principalmente de acordo com a geometria da grafita. O ferro fundido nodular apresenta grafitas em forma de nódulos e tem como característica uma boa ductilidade. O cinzento tem a grafita em formatos de lamelas e apresenta uma boa usinabilidade com relação aos demais fundidos. Já o ferro fundido vermicular tem grafitas em forma de escamas ou vermículos, possuindo características de fundição do cinzento, com melhor resistência mecânica e pouca ductilidade (ROSARIO, 2012; SANTOS, 2013).

De acordo com Santos (2015), o ferro fundido cinzento corresponde a maior parte de fundidos produzidos. Tem uma composição que varia de 2,5% a 4% de carbono e 1% e 3% de silício. Chiaverini (2005), explica que uma parcela relativamente grande está no estado livre (grafita lamelar) e outra parcela no estado combinado ( $[\text{Fe}]_{-3}\text{C}$ ).

O carbono no ferro fundido cinzento pode existir na forma de grafita ou como carboneto de ferro. Com a grafitização completa, o fundido terá lamelas de grafita com uma matriz ferrítica resultando em uma excelente estabilidade. As lamelas proporcionam uma alta concentração de esforços diminuindo a resistência mecânica e ductibilidade (CASTILLO, 2005).

A dispersão dos veios de grafita é responsável por duas propriedades pertinentes sendo um bom amortecimento de vibrações o que é desejável em motores e outras máquinas, e também uma lubrificação interna tornando o fundido bastante usinável (SANTOS, 2015).

Além das qualidades antes citadas Castillo (2005), afirma que o ferro fundido cinzento possui uma boa resistência a compressão, resistência à fadiga térmica e boa condutividade térmica. Santos (2015), complementa que tais propriedades fazem do fundido um bom material para fabricação de blocos de motores e cabeçotes de automóveis, carcaças de motor e bases de máquinas- ferramenta.

O ferro fundido nodular ou ferro fundido dúctil tem a composição do ferro fundido cinzento, mas o metal fundido é obtido pela adição de uma pequena quantidade de magnésio ou de cério antes do vazamento para produzir nódulos de grafita em vez de veios. Esses veios produzem um fundido mais resistente e dúctil justificando o nome (SANTOS, 2015; FERRARESI, 1977).

Em um complemento de Ferraresi (1977), ao se fazer a normalização e o revenido sua resistência aumenta, mas o tornam mais quebradiço. O recozimento aumenta sua ductibilidade. Apesar de ter mais resistência e mais alta pressão

específica de corte em relação ao cinzento, o nodular tem a usinabilidade melhorada ou semelhante quanto.

Santos (2006), afirma que os nodulares ferríticos apresentam valores de resistência de 380 a 450 Mpa e um alongamento entre 10 a 22%. A combinação dessas propriedades faz com que a família dos nodulares ocupe aplicação crescente na engenharia, com sua notável tenacidade, resistência mecânica e ductilidade. Exemplos de aplicações são as válvulas, corpos de bombas, virabrequins, engrenagens e outros componentes automotivos e de máquinas.

Quanto ao fundido ferro fundido vermicular, as estruturas são lamelas espessas e com superfície áspera e irregular e cantos arredondados, interconectados, ganhando assim o nome de vermicular (FRANÇA, 2020).

Ainda segundo França (2020), os cantos arredondados ajudam a diminuir concentradores de tensão e a grafita interconectada ajuda a aumentar a transferência de calor que conseqüentemente aumenta a absorção de vibrações, ao comparar com nodular. A morfologia da grafita dá ao vermicular uma ótima ductilidade, tenacidade, resistência à fadiga térmica, resistência mecânica e absorção de vibrações, se tornando uma opção intermediária entre o cinzento e o nodular (TOOPTONG, 2018). Uma comparação dos três fundidos pode ser observada na Figura 17.

**Figura 17 – Comparação de propriedade dos principais fundidos**

Propriedade	Cinzento	Vermicular	Nodular
Resistência à tração [MPa]	235	500	650
Módulo de elasticidade [GPa]	110	140	165
Resistência à fadiga [MPa]	100	205	265
Condutividade térmica [W/(mK)]	48	35	28
Dureza [HB]	200	225	270
Limite de escoamento 0,2%	160	380	425
Energia Charpy- V [J]	50	100	30

Fonte: França (2020)

### 2.5.1 Ferro fundido vermicular

O ferro fundido vermicular é um material recente, descoberto na década de 40 durante testes em laboratório que tinham finalidade de aprimorar a produção do nodular. Foi acrescentado elementos de cério e magnésio que se observou a estrutura

lamelar, essa semelhante a vermes, sendo batizado assim de ferro fundido vermicular ou CGI (compacted Graphite Iron) (GUESSER, 2019).

Somente na década de 60, após muitos estudos que se descobriu que o vermicular podia ser fabricado, controlando a formação da grafita nodular quando realiza a combinação da incorporação do titânio e magnésio em alto teor. O magnésio auxilia a inibir o crescimento da grafita lamelar enquanto o titânio impede a formação dos nódulos na estrutura (GUESSER, 2019).

Segundo Mocellin (2002), a utilização de titânio e magnésio formam duas maneiras de se conseguir o vermicular. Ao se utilizar magnésio sem grandes concentrações faz com que se forme um material intermediário, titânio como anti-nodularizante resulta em uma maior facilidade para ser realizado, pois não exige um controle tão rigoroso na quantidade de magnésio na liga.

Após cinco décadas de sua descoberta o ferro fundido vermicular começou a ser comercializado, devido a sua grande dificuldade de reprodução da morfologia da grafita obtida em laboratórios e por falta de habilidade que geravam altos custos de produção (RODRIGUES JÚNIOR, 2017).

Segundo a ISO 16112 (2017), o ferro fundido vermicular é dividido em cinco classes, cada uma delas leva em conta o valor mínimo de limite de resistência à tração, elas estão ilustradas na Figura 18.

**Figura 18 – Classe de ferros fundidos vermiculares**

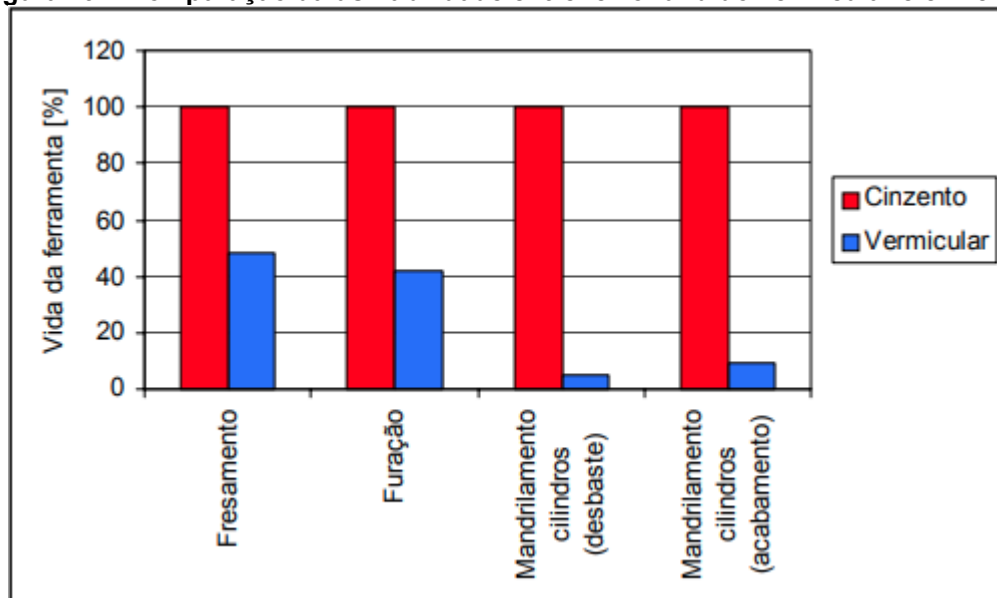
Classe ISO 16112	Limite resistência a tração Min. [Mpa]	Limite de escoamento Min [Mpa]	Alongamento Min [%]	Dureza HB30
JV-300/S	300	210	2,0	140 a 210
JV-350/S	350	245	1,5	160 a 220
JV-400/S	400	280	1,0	180 a 240
JV-450/S	450	315	1,0	200 a 260
JV-500/S	500	350	0,5	220 a 280

Fonte: ISO 16112 (2017)

### 2.5.2 Usinabilidade do ferro fundido vermicular

Com o número de vantagens que poderiam ser obtidas com a utilização do ferro fundido vermicular em blocos de motores, no ano de 1996 o material começou a ser introduzido em Linhas Transfer de usinagem de ferros fundidos cinzentos. Os problemas foram imediatos, as altas velocidades de corte não puderam ser utilizadas principalmente no mandrilhamento de cilindros devido ao seu desgaste mais acentuado em insertos de PCBN. Os resultados desses testes são mostrados na Figura 19 onde o cinzento é comparado com o CG em algumas operações de usinagem (MOCELLIN, 2002).

**Figura 19 – Comparação da usinabilidade entre ferro fundido vermicular e cinzento.**



Fonte: Mocellin (2002)

As operações de fresamento e furação utilizando metal duro mostraram uma redução de aproximadamente 50% na vida das ferramentas, efeito produzido pela maior resistência mecânica apresentada no vermicular (MOCELLIN, 2002).

Para a usinagem do ferro fundido vermicular a estabilidade química da ferramenta não é de grande importância, porque os cavacos são pequenos e o atrito com saída da ferramenta é reduzido diminuindo o desgaste por difusão (FRANÇA, 2020).

Entretanto, Mocellin (2002), afirma que a variação da formação da grafita lamelar faz com que se altere o modo de ruptura do cavaco, passando de frágil para dúctil. O cavaco do vermicular tende a ficar mais tempo em contato com a face da ferramenta comparando com o do cinzento. Este fator somado com o maior coeficiente

de atrito do vermicular e sua menor condutividade térmica fazem com que as temperaturas da ferramenta se elevem durante o corte.

Quando se trata de abrasão, constatou-se que o CGI é aproximadamente 15% mais abrasivo que o cinzento, considerando mesmos níveis de dureza. Este fato pode explicar a redução de vida das ferramentas quando se usina com baixas velocidades de corte, não podendo afirmar o contrário (MOCELLIN, 2002).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Metodologia

O experimento foi abordado de acordo com os seguintes tópicos:

- Preparação da ferramenta;
- Furação;
- Quantificação do desgaste;
- Processamento de dados;
- Análise de vida e afiação;

A metodologia foi criada de acordo com as circunstâncias de tempo, conciliando as atividades exercidas na função de estagiário, preparações de ferramentas e medições das amostras.

A furação realizou-se em uma máquina de comando numérico computadorizada (CNC), onde o processo de referenciamento da peça e *preset* das ferramentas devem ter a maior precisão possível. O manuseio incorreto do equipamento pode gerar desvios e erros nos resultados.

Para início dos ensaios a ferramenta é preparada com ajuda do setor de *Preset*. A mesma é fixada no cone utilizando interferência e presetada para ser colocada em máquina, após esse procedimento a ferramenta foi inserida na máquina com auxílio do operador do turno.

Foram utilizadas 5 brocas (3 revestidas e 2 sem revestimento) e cada uma delas usinou 60 peças totalizando 360 furos. Os parâmetros de corte são os mesmos utilizados no processo, sendo avanço de 0,4mm/rot a 950 rpm. Após 54mm de profundidade o avanço é reduzido para 0,233mm/rot afim de reduzir quebras por se tratar de um furo passante.

Cada broca revestida foi retirada após realizar a usinagem de 20 peças (120 furos) e levada até o laboratório para analisar o desgaste, portanto para completar as 60, é necessário realizar 3 aferições em cada uma das brocas revestidas. As brocas sem revestimento servirão de controle e foram medidas no final de 60 peças (360 furos), que atualmente é definido como o fim da vida útil da ferramenta.

Nas etapas finais do processo experimental, foi necessário fazer o estudo do desgaste de todas as ferramentas empregadas no trabalho, usando um estereoscópio como auxílio. A observação teve foco em obter o desgaste do flanco, podendo assim realizar uma estimativa da vida de cada ferramenta.

O experimento se deu por encerrado após a compilação e análise dos dados, assim como pesquisas complementares. Utilizados gráficos, tabelas e imagens para apresentação dos resultados.

### 3.2 Materiais

#### 3.2.1 Ferramentas

As brocas utilizadas nos ensaios são de metal duro com e sem revestimento de  $TiXCo^3$  como mostrado na Figura 20. O revestimento foi desenvolvido e patenteado pela Platit com auxílio da Tupy, tem como formulação base de Titânio, Alumínio e Silício, apresentando uma elevada dureza sendo de 3900HV. As brocas são de canal reto, com diâmetro de 25mm.

**Figura 20 – Broca utilizada.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

#### 3.2.2 Peça testada

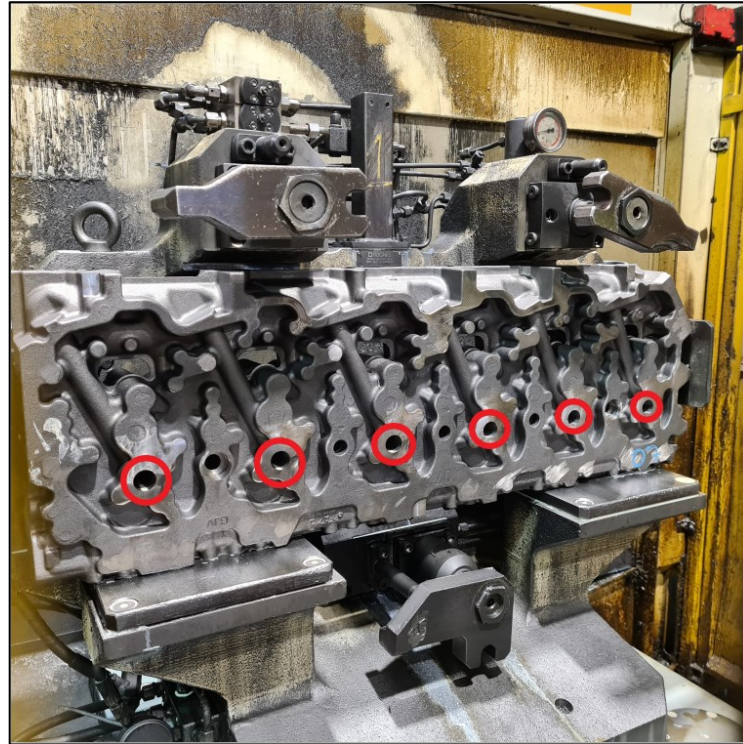
A peça utilizada para os testes foi um cabeçote fabricado em ferro fundido vermicular (CGI-Classe 450Mpa) com 6 cilindros. Foram feitas as 6 furações nas características mostradas na Figura 18. A furação é passante com profundidade de 75 mm.

Um ensaio de dureza foi realizado utilizando uma esfera de 10 mm/3000kgf encontrando uma média de dureza nas superfícies da furação de 238 HB, já em seu



núcleo a dureza média encontrada foi de 234 HB. Os valores se encontram dentro das especificações, na faixa de 190 a 260 HB.

**Figura 21 – Cabeçote utilizado nos ensaios**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

### 3.2.3 Equipamentos utilizados

Com auxílio do operador a ferramenta é fixada no cone através de interferência, ela é fixada usando a máquina Bliz ISG 3410, Figura 22. O equipamento aquece o cone, dilatando o material, e então é feita a inserção da ferramenta, em seguida o cone é resfriado fixando a ferramenta.

**Figura 22 – Equipamento para fixação da ferramenta**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Após a fixação, o cone com a broca é levado até a Zoller modelo venturion 600/8, mostrada na Figura 23, sendo assim realizado o preset da ferramenta com auxílio também de um operador.

**Figura 23 – Zoller Venturion 600/8**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O processo de furação foi realizado no centro de usinagem GROB modelo BZ800, comando Siemens, mostrado na Figura 24. Para a furação, foi utilizado o fluido de corte Hocut 796MP com pressão variando entre 50 e 49bar, dentro das especificações estipuladas pelo processo, 45 e 65 bar.

**Figura 24 – Centro de usinagem GROB**



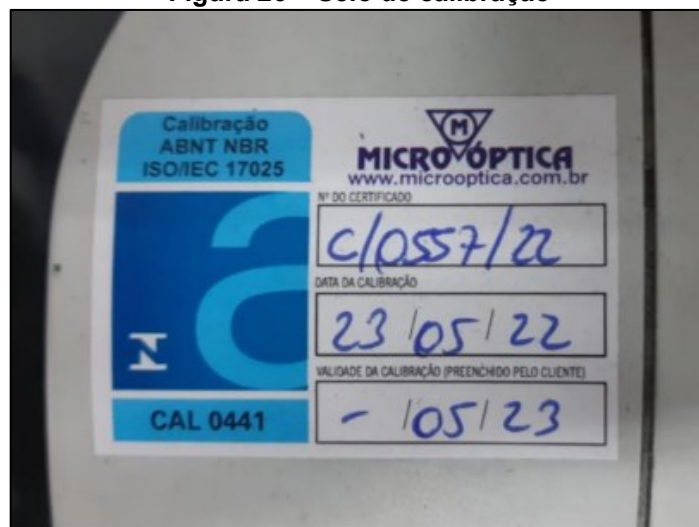
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Após a furação, a broca foi retirada do cone e levada até o laboratório de metalografia aonde foram medidos os níveis de desgaste de acordo com o número de peças usinadas, utilizando o estereoscópio Olympus SZ61 em ampliação de 20x, utilizando o software Image Pro Plus 6.1, mostrado na Figura 25. A medição ocorreu em dois pontos, sendo o primeiro ponto a interseção entre o flanco e a guia e o segundo ponto com espaçamento de 0,50 mm.

**Figura 25 – Modelo de estereoscópio**

Fonte: Olympus (2022)

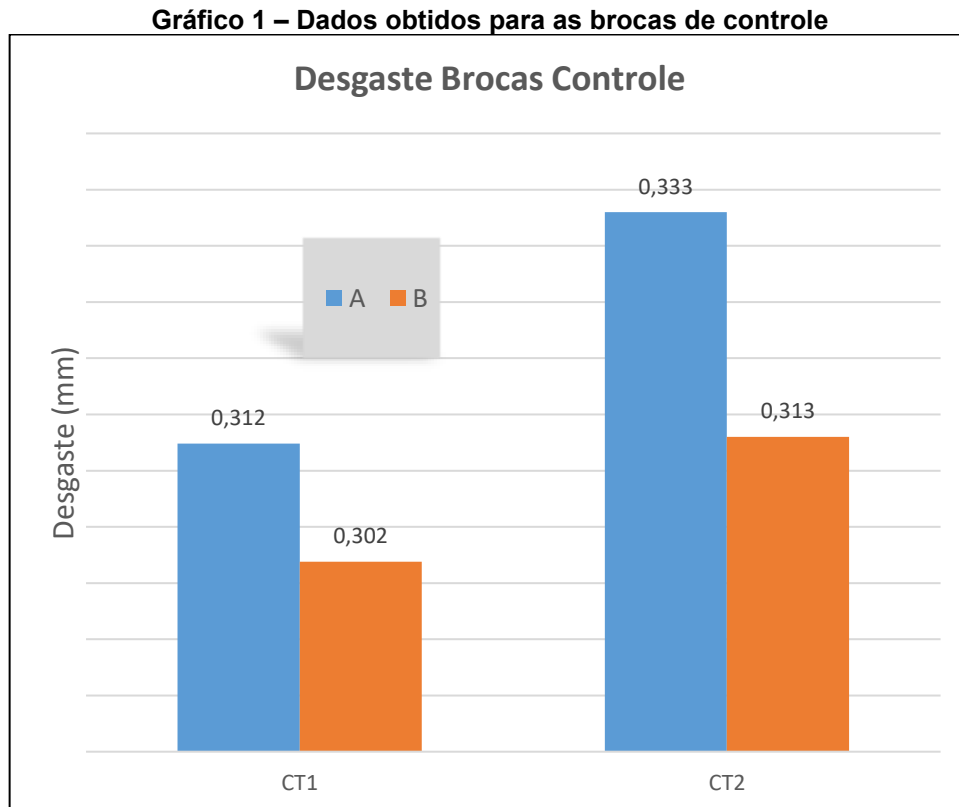
Para conseguir retirar as medidas reais no estereoscópio, foi usado a escala de um paquímetro com uma medida conhecida, servindo como base de calibração. Todas as fotos foram tiradas usando a mesma calibração mantendo a constância e critérios. Este estereoscópio apresenta calibração segundo ABNT NB ISSO/IEC 17025, datado de 23/05/2022 e sendo válido até o mesmo mês do ano seguinte, Figura 26. Por fim para analisar os desgastes e viabilidade do revestimento nas ferramentas foi utilizado tabelas para compilação de dados.

**Figura 26 – Selo de calibração**

Fonte: Autoria própria (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os ensaios foi possível compilar as informações no Gráfico 1, nele estão os desgastes nas brocas de controle CT1 e CT2. Foram realizadas medições nos dois lados da broca sendo eles A e B. A média de desgaste de ambas as brocas foi utilizado como parâmetro na comparação para brocas com revestimento.

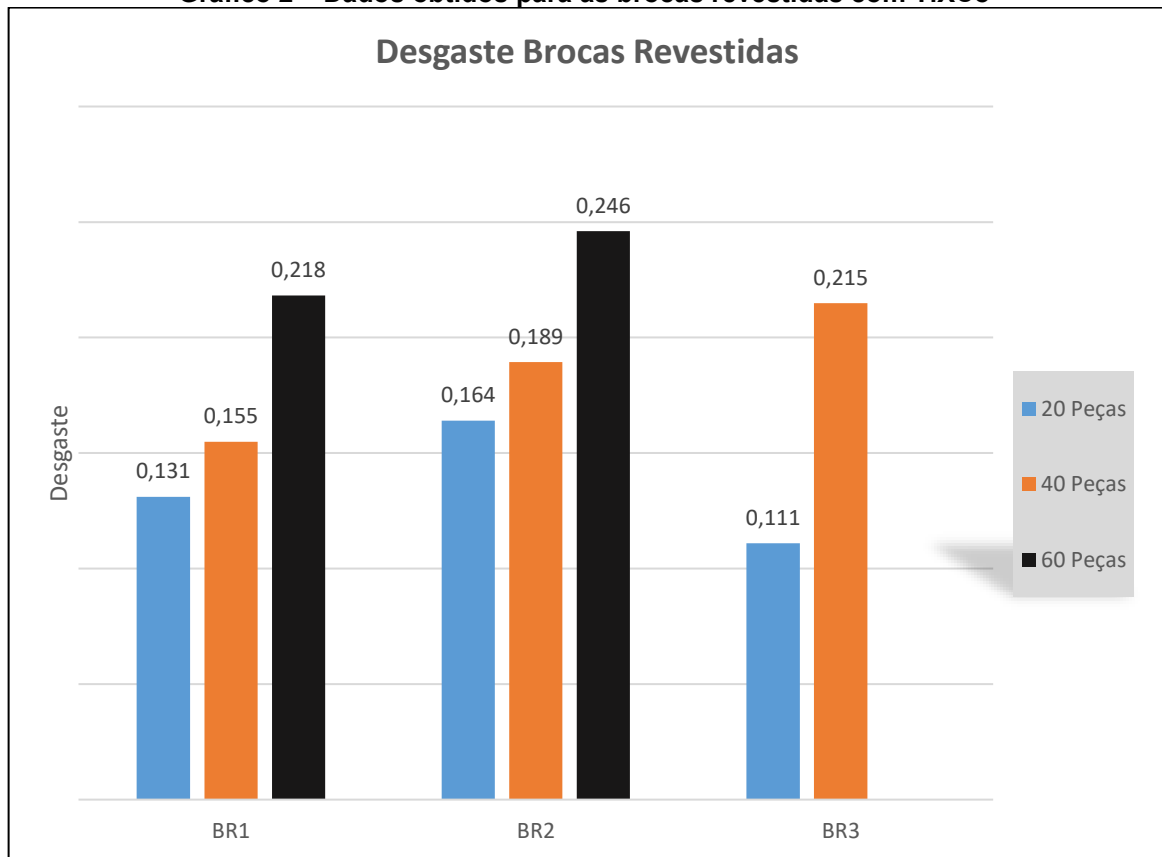


**Fonte: Autoria própria (2022)**

De acordo com os dados, a média de desgaste foi de 0,315mm após 60 peças com desvio padrão de 0,011. Os valores obtidos permitem a utilização da ISO 3685, portanto esse desgaste médio foi adotado como referência de fim de vida.

Para as brocas com revestimento (BR1, BR2 e BR3), foram realizadas as mesmas aferições podendo ser compiladas no Gráfico 2. A terceira broca sofreu uma falha após a 41ª peça, sendo assim não apresenta dados para a última etapa. De acordo com investigações feitas, essa falha ocorreu devido a uma variação na pressão do fluido de corte que gerou uma quebra prematura, isso se torna claro observando seu desgaste, ele é mais acentuado que ambas as outras brocas na mesma etapa do teste.

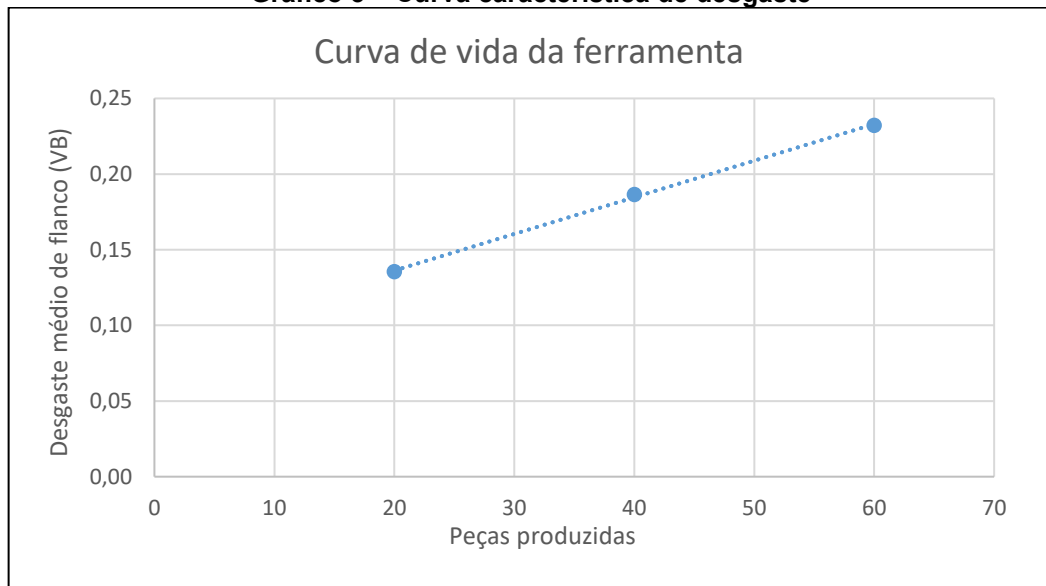


Gráfico 2 – Dados obtidos para as brocas revestidas com TiXCo<sup>3</sup>

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando os dados, vemos que o desgaste médio para as brocas com revestimento foi de 0,232 mm após realizar 60 ciclos, seu desvio padrão médio ficou em 0,022.

Para podermos igualar o desgaste e determinar o fim de vida de acordo com a ISO 3685 foi necessário obter a equação que estima a vida da ferramenta. Utilizando a Figura 10 e adotando que entre as etapas I e III o desgaste é linear foi gerado o Gráfico 3, que informa a equação característica de desgaste, essa que permite encontrar e determinar o estágio em que a broca revestida se iguala a broca de controle.

**Gráfico 3 – Curva característica de desgaste**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A partir do Gráfico 3, foi encontrada a Equação 5, mostrada abaixo:

$$V_b = 0,0024x + 0,0878 \quad (5)$$

onde:

x=número de peças.

$V_b$  = desgaste de flanco

Ao utilizar a equação 5 estimou-se que a broca com revestimento será capaz de realizar 85 peças até chegar a um desgaste médio de 0,311mm, próximo da medida de 0,315mm das brocas de controle.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os resultados apresentados cumpriram os objetivos pré-estabelecidos no estudo de viabilidade do uso de revestimento. Com eles foram possíveis acompanhar e encontrar o comportamento do desgaste nas ferramentas em função do número de peças usinadas.

O uso do revestimento se mostrou eficaz na aplicação estudada. Brocas com revestimento de  $TiXCo^3$  apresentaram um ganho de aproximadamente 41,67%. Vale ressaltar que essa comparação só pode ser adotada se considerarmos que o desgaste continua linear de acordo com a Figura 10.

Esse resultado positivo se deu pela utilização do Ti, que como visto no tópico 2.3.1 do presente trabalho, se agrupado com elementos chaves como alumínio resulta em uma ótima resistência ao desgaste. Composição essa comumente conhecida como TiAl.

O silício presente no revestimento também tem grande papel no baixo desgaste. Por se tratar de um material cerâmico ele possui bom desempenho em altas temperaturas e também ao desgaste. De acordo com Israel (2010), o nitreto de silício é um revestimento duro para aplicações em alta temperatura, se mostra muito eficiente contra a oxidação e com dureza elevada gera resistência ao desgaste dobrada.

É importante lembrar que o fluido de corte pode ser outra variável que influencia no processo, porém como a Tupy conta com uma central de fluido, o uso de outro pode ser trabalhoso e custoso, inviabilizando o teste.

Deve ser observado também que o processo onde o estudo foi aplicado apresentou variações que ocasionaram uma quebra de ferramenta, que acabou prejudicando a coleta dos dados. Devido ao grande valor agregado das peças produzidas, o processo deve ser o mais consistente possível, aumentando produtividade e reduzindo os índices de refugo.

Por fim, sabendo que o custo da afiação é aproximadamente 43,52% mais custosa que o revestimento, é possível afirmar que é vantajoso investir no uso do revestimento, a produção pode ser prolongada para 85 peças a cada vida útil, isso reduz o número de troca de ferramentas e afiações. Os desgastes e resultados mostrados dão a liberdade para a empresa em realizar otimizações nos parâmetros



de corte para diminuir o tempo de ciclo ou mantê-los. Ambas as opções melhorariam a eficiência do processo.

## 6 SUGESTÕES

- Aumentar o espaço amostral de ferramentas;
- Realizar aferições em menores espaçamentos;
- Realizar medições além do espaço de 60 peças para comprovar o crescimento linear do desgaste;
- Utilizar mais revestimentos para aumentar os comparativos;
- Aumentar a concentração de silício para tentativa de usinagem a seco;
- Testar novas geometrias para a ferramenta;

## REFERÊNCIAS

ABELE, E.; SAHM, A.; SCHULZ, H.. **Wear Mechanism when Machining Compacted Graphite Iron. *Cirp Annals* - Manufacturing Technology, Darmstadt, Alemanha. v. 51, n.01, p. 53-56. 09 Novembro 2022.**

AGUZZOLI, C. et al. **Physicochemical, structural, and mechanical properties of Si 3 N 4 films annealed in O 2**, *Jornal of Applied Physics*, ano 073521, v. 107, n. 7, 1 abr. 2010. 9, p. 1-10. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96276>. Acesso em: 10 nov. 2022.

ANDRADE, C. L. F. **Análise da furação do ferro fundido vermicular com brocas de metal-duro com canais retos revestidas com TiN e TiAlN**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

CASTILLO, W.J.G. **Furação profunda de ferro fundido cinzento GG25 com brocas de metal-duro com canais retos**. Orientador: Prof. Dr. Rolf Bertrand Schroeter. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CHEN, M; JIANG, L; GUO, G; AN, Q.; **Experimental and FEM Study of Coated and Uncoated Tools Used for Dry Milling of Compacted Graphite Cast Iron**. *National Natural Science Foundation Of China, Shanghai,China. v. 07, n. 04, p.01-07, 20 Maio 2011. Semestral.*

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 7ª Edição, 2002.**

CIMM. **Material Didático sobre Usinagem**. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/materialdidatico/usinagem.shtml>. Acesso em: Novembro de 2022.

COSTA, A. F. **Análise Comparativa de Ferramentas Revestidas por PVD e CVD no Torneamento do Aço ABNT 8620**. Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro. 2016. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica na área de Materiais) - UFU, Guaratinguetá, 2016.

DINIZ, A.E; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo, Art. Líber Editora, 2000, 256 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977, 751 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 5 ed., 2006.

FORTUNATO, Fernando Aparecido Pacheco da Silva. **Medição do Desgaste de Brocas Helicoidais de Aço Rápido Por Meio do Uso de Um Dispositivo a Laser**. 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2012.

GUESSER, W. L. **Propriedades mecânicas dos ferros fundidos**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2019.

GARDNER, J. D.; DORNFELD, D. **Finite Element Modeling of Drilling Using DEFORM**. Consortium on Deburring and Edge Finishing, Laboratory for Manufacturing and Sustainability, p. 1-8, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16112:2017: compacted (vermicular) graphite cast irons – classification**. 2. ed. Technical Committee ISO/TC 25 Cast irons and pig irons, 2017. 24 p.

LI, R.; SHIH, J. **Spiral point drill temperature and stress in high-throughput drilling of titanium**. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 47, Issues: 12-13, p. 2005-2017, 2007.

LUIZ, J. M.. **Estudo da viabilidade de utilização de brocas de canal reto com ponta de pcbn para furação de ferro fundido cinzento FC-250**. Orientador: Prof. Dr. Lourival Boehs. 2016. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.) - UFSC, Florianópolis, 2016.

MACHADO, A.R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R.T.; DA SILVA, M.B. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2009. 371p.

MARMENTINI, M. M. **Análise da Furação do Ferro Fundido Nodular Utilizando Brocas Helicoidais de M2 Nitretadas**. Orientador: Prof. Giuseppe Pintaúde. 2009. Título de Mestre em Engenharia (Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. I.], 2009.

MEDEIROS, M. A. **Influência dos carbonitreto de titânio na usinabilidade do aço VP100 utilizado em moldes de injeção de plástico**. Orientador: Prof. Dr. Márcio Bacci da Silva. 2011. Programa de Pósgraduação em Engenharia Mecânica (DOCTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA.) - UFU, Uberlândia, 2011.

MENDES, Gabriel Cury Batista. **Avaliação de desgaste, massa e rugosidade de brocas com superfície de aço, com revestimento de carbono e zircônia, para implantes osteointegrados, submetidas à osteotomias e esterilizações em autoclave.** 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Odontologia, Instituto Latino Americano de Pesquisa e Ensino Odontológico, Curitiba, 2011.

MITUTOYO. **Catálogo PG 905.** Em: site da empresa Frato. São Paulo, 2009. Disponível em: < <https://www.mitutoyo.com.br/download/catalogo2/catalogo-basico-2022.pdf>>. Acesso em: 04 novembro. 2022

MOCELLIN, F. **Avaliação da usinabilidade do ferro fundido vermicular em ensaios de furação.** 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

OERLIKON BALZERS. **Catálogo do fabricante.** Disponível em: < [www.oerlikonbalzerscoating.com](http://www.oerlikonbalzerscoating.com)>. Acesso em: 02 de Novembro 2022.

OLIVEIRA, V.V. **Influência da geometria de brocas na furação do ferro fundido vermicular.** 2008. 173 f. Dissertação (Mestre Em Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Pesquisa e Pós- Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2008.

PEREIRA, A. C. **Análise de capacidade para avaliar a influência de geometria de brocas helicoidais em furação profunda de uma liga de alumínio – Um estudo de caso.** 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – 69 Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PRENGEL, H. G. et al. **A new class of high performance PVD coatings for carbide cutting tools.** Surface and coatings technologies, n. 139, p. 25-34, 2001

RODRIGUES JÚNIOR, T. **A fabricação do ferro fundido vermicular.** Fundição e Serviço, São Paulo, Aranda, ano 27, n. 293, p. 26-33, maio 2017.

SANTOS, C.L.C. **Estudo comparativo entre o processo de alargamento e a operação de furação convencional em aço SAE 4140.** Orientador: Prof. Ms. Henrique Ajuz Holzmann. 2018. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2018.

SANTOS, J.R. **Avaliação dos parâmetros de corte e tipos de revestimento na furação do ferro fundido nodular FE 45012.** Orientador: Prof. Ms. Fernando H. Gruber Colaço. 2016. 69 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo no Curso

Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2016.

SANTOS, G.A. **Tecnologia dos materiais metálicos: propriedades estruturas e processos de obtenção**. São Paulo, ed. Erica, 2015. 19p.

SANTOS, D.V. **Análise dos esforços de usinagem na furação do ferro fundido vermicular ASTM A 842/2004**. Orientador: Prof. Dr. Durval Uchôas Braga. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del Rei, 2013.

SOUZA, R. F. **Metrologia II, ETEc Rubens de Faria e Souza**, 2013.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte II**. 2.ed. Florianópolis: Editora UFSC, 1995, 326 p.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Processo de Usinagem: Fabricação por Remoção de Material**. Apostila do Curso de Engenharia Mecânica UFSC.Santa Catarina, 2007.

STOETERAU, R. L. **Processo de Furação, Apresentação de aulas**, UFSC, Disponível em: . Acesso em: Novembro de 2022.

ROSARIO, A.M. **Estudo dos efeitos de elementos de liga na solidificação de um ferro fundido cinzento via análise térmica**. 2012. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012.

TEIXEIRA, C.R. **Influência dos erros geométricos de afiação nas brocas helicoidais de aço rápido na qualidade dos furos produzidos**. 1995. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

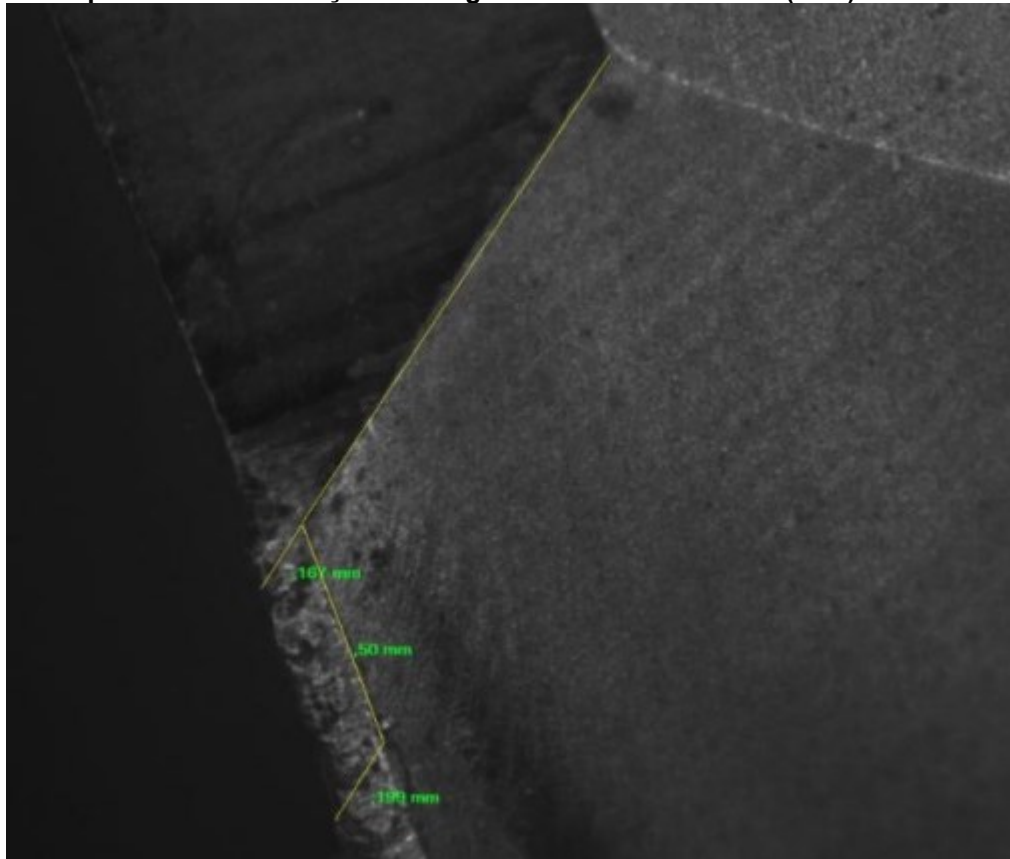
TOOPTONG, S.; PARK, K-H.; KWON P. **A Comparative investigation on flank wear when turning three cast irons**. Tribology International, Amsterdam, v. 120, p. 127–139, 2018.

TÖNSHOFF, H. et al. Machines of holes – developments in drilling technology, **Annals of CIRP**, v. 43, p. 551-561, 1994

WALKER, J. R. **Machining Fundamentals**. 8. Ed. Tinley Park: GoodheartWillcox, 2004

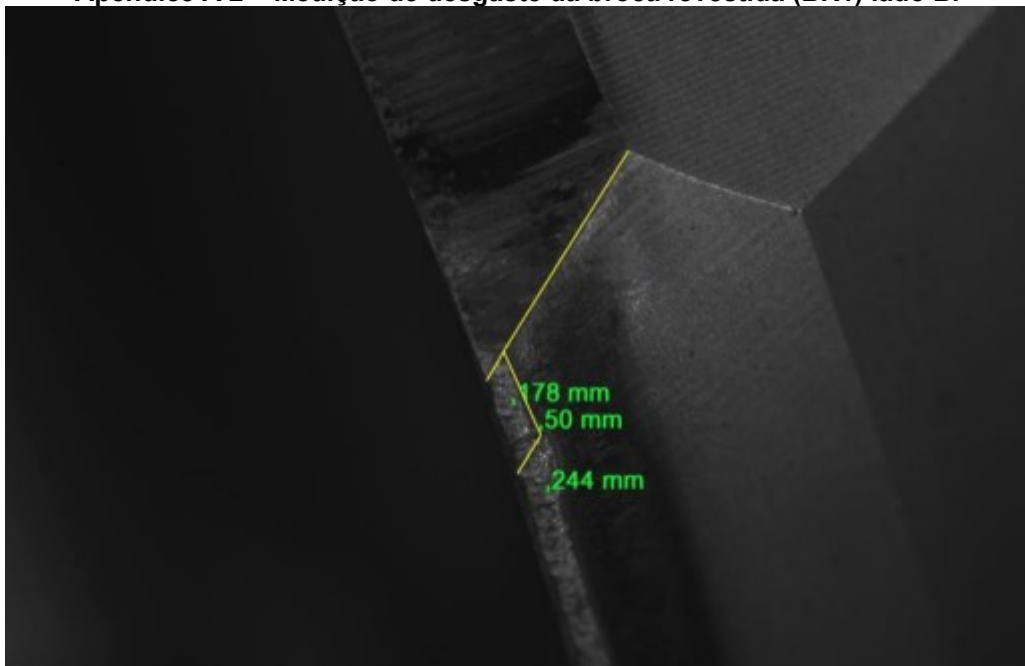
**APÊNDICE A - IMAGENS DA MEDIÇÃO DAS BROCAS REVESTIDAS COM TIXCO<sup>3</sup>**

**Apêndice A 1 – Medição de desgaste da broca revestida (BR1) lado A.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

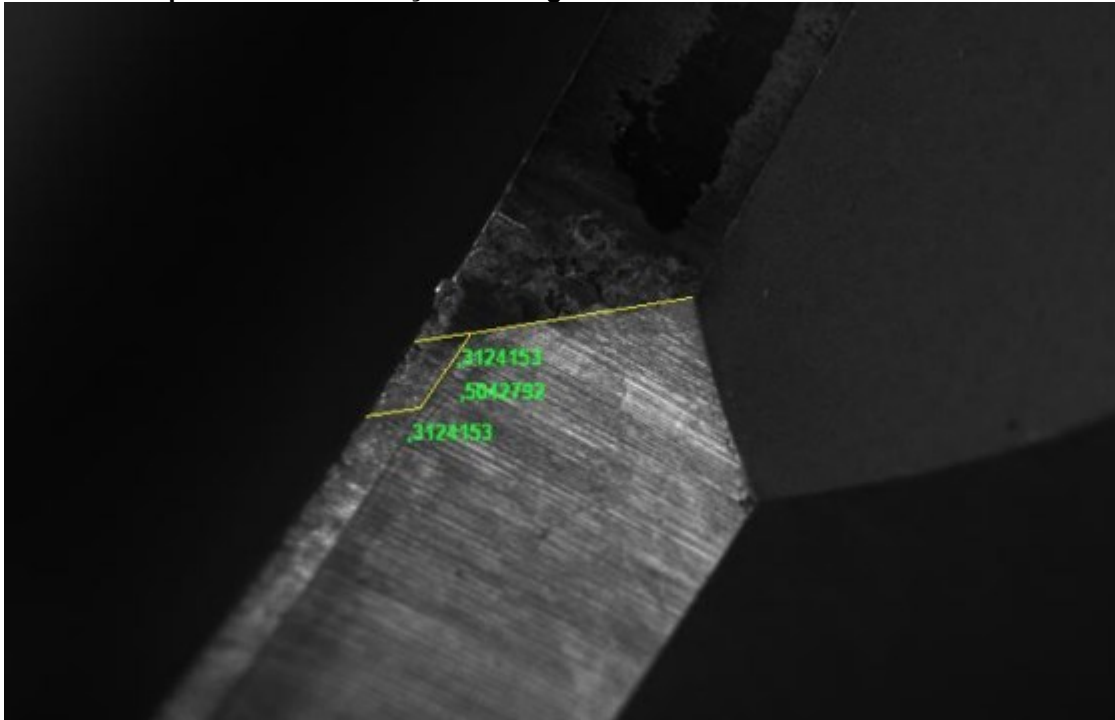
**Apêndice A 2 – Medição de desgaste da broca revestida (BR1) lado B.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**



## **APÊNDICE B - IMAGENS DA MEDIÇÃO DAS BROCAS SEM REVESTIMENTO**

**Apêndice B 1 – Medição de desgaste da broca sem revestimento.**

Fonte: Autoria própria (2022)

**ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998**



**Presidência da República  
Casa Civil  
Subchefia para Assuntos Jurídicos**

**LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998<sup>1</sup>.**

**Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.**

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

<sup>1</sup> Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19610.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19610.htm).